

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Mestrado em Logística

RISCOS DE ATRASOS NA CADEIA LOGÍSTICA
DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO

Cesar Augusto de Almeida Lima

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Mestre em Engenharia
de Produção, com concentração na área de
Logística Empresarial.

Florianópolis
2002

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a proposição de um procedimento para auxiliar na determinação do risco de quebra da continuidade da cadeia logística de suprimento de petróleo importado.

Analisando as várias atividades da cadeia verifica-se que diversos imprevistos colocam em risco o abastecimento de petróleo trazendo como consequência atrasos, perdas de venda, de clientes e da credibilidade no mercado.

A partição da cadeia de suprimento de petróleo gerando diversos mercados competitivos aumenta a complexidade do gerenciamento da mesma, sendo necessário um estudo mais profundo do seu comportamento que indica a caracterização de cada uma das atividades que a constituem em termos de distribuições de probabilidade dos tempos despendidos.

Após o estudo das atividades, foi elaborado com o auxílio de um modelo de simulação programado em ARENA, procedimento para a obtenção de parâmetros que possam representar um determinado risco de atraso, medido em termos de probabilidade do cumprimento do nível de serviço estabelecido pela empresa.

Visando uma demonstração da aplicabilidade desse procedimento foi desenvolvido um estudo de caso para o suprimento de petróleo no porto de S. Sebastião, que permitiu observar além do comportamento daquele, a sua utilidade na detecção de gargalos, através de uma análise de sensibilidade, e na tomada de decisão sobre origens das cargas, equipamentos a serem utilizados e outras.

A curva final de distribuição dos tempos operacionais da cadeia de suprimento obtida pelo procedimento adotado, permite uma programação adequada ao nível de serviço da empresa, bem como o planejamento de alternativas operacionais com antecedência no caso de risco elevado de atraso.

ABSTRACT

The main purpose of the present dissertation is the development of a procedure that would help to determine the interruption risk of the supply chain of the petroleum being imported.

After analysing the activities that compose the petroleum supply chain, it was perceived that diferents unexpected incidents may happen, which would enable loss of sale, loss of clients and loss of credibiliy in the market.

The division of the petroleum supply chain in several competitive markets, increased the complexity of its management requiring then, a deeper study of its behaviour which should include activity characterization in terms of probability distribution of the consumed times.

After the study of such activities, a procedure was developed, using a simulation model built with the "ARENA" software, to obtain the parameters that would describe the delay chain risk in terms of the probability to operate in a service level determined by the company,.

Aiming to show the aplicability of this procedure it was developed a case study of the petroleum supplying chain at S.Sebastian Port. This study allowed to demonstrate the procedure behaviour as well as its utility in bottleneck detection, through a sensibility analisys, and in management decisions related to cargo origins, equipments adequacy and so on.

The resulting probability distribution curve of the supply chain operating times allows to prepare a programing schedule that fits the service level of the company, and, besides, allow to plan, in advance, operating alternatives if the risk of delay is high.

ÍNDICE

TÓPICO	Página
Resumo	i
 CAPÍTULO I – RISCO NA CONTINUIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO INTEGRADA	
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivo.....	3
1.3. Justificativa.....	3
1.4. Estrutura do trabalho.....	4
 CAPÍTULO II – LOGÍSTICA	
2.1. Definição	6
2.2. Breve histórico	7
2.3. Atividades logísticas	11
2.4. Mercado de petróleo	17
2.4.1. O Brasil no mercado de petróleo	18
2.4.2. A Petrobras no mercado de petróleo	19
2.4.3. Características do petróleo	20
2.4.4. A logística do mercado de petróleo	21
2.4.4.1. A frota aquaviária mundial	21
2.4.4.2. Aproveitamento dos navios tanques	22
2.4.4.3. Oleodutos	24
2.5. Conclusão	25
 CAPÍTULO III – A CADEIA DE ABASTECIMENTO DE PETRÓLEO	
3.1. Abastecimento de petróleo no Brasil	26
3.2. Cadeia logística de abastecimento de petróleo no Brasil	28
3.2.1. Carregamento do navio no porto	28
3.2.2. Viagem para o porto de destino	30
3.2.3. Descarregamento no terminal	30
3.2.4. Armazenamento e transferência do terminal para a refinaria....	31
3.3. Causas de atraso na cadeia de abastecimento do Brasil	31
3.3.1. Atraso no carregamento do navio	32
3.3.2. Atraso na viagem para o porto de destino	33
3.3.3. Atraso no descarregamento no porto de descarga	33
3.3.4. Atraso no armazenamento e transferência para a refinaria	33
3.4. Os tempos operacionais de cada atividade	35
3.5. Conclusão	36
 CAPÍTULO IV – A CONFIABILIDADE DA CADEIA LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO	
4.1. Introdução	37
4.2. Risco	37

4.3 Cômputo do risco ou confiabilidade	39
4.4. Simulação ..	42
4.5. Conclusão	48

CAPÍTULO V – PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA CADEIA LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO

5.1. Introdução	49
5.2. O procedimento proposto	49
5.3. O modelo de simulação	55
5.3.1. Elementos da simulação	56
5.3.2. Descrição do modelo	57
5.3.2.1. Classes de entidades	58
5.3.2.2. Filas	58
5.3.2.3. Recursos	58
5.3.2.4. Variáveis	58
5.4. Conclusão	68

CAPÍTULO VI – ESTUDO DE CASO

6.1. Introdução	69
6.2. Atividades	70
6.3. Curvas de distribuição de probabilidade de diversos tempos	72
6.4. Aplicação do procedimento proposto	73
6.5. Análise dos resultados	79
6.6 Conclusão	83

CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões	85
7.2. Recomendações	86

ANEXOS

ANEXO I	Curva de Distribuição de Probabilidade do Tempo de Operação em Arzew	87
ANEXO II	Curva de Distribuição das Viagens de Arzew para S.Sebastião.....	88
ANEXO III	Curva de Probabilidade do Tempo entre a Chegada em S.Sebastião e o Início da Operação de Descarga	89
ANEXO IV	Curva de Distribuição de Probabilidade do Tempo de Descarga em S.Sebastião.....	90
ANEXO V	Curva de Distribuição de Probabilidade dos Volumes Transferidos do Terminal para a Refinaria	91
ANEXO VI	Curva de Distribuição de Probabilidade das Vazões de Transferência do Terminal para a Refinaria	92
ANEXO VII	Curva de Distribuição de Probabilidade do Tempo Total da Cadeia.....	93
APÊNDICE	Distribuições de Probabilidade: Conceitos e Propriedades	96

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 3.1.	Refinarias no Brasil.....	27
FIGURA 3.2.	Dutos e terminais operados pela TRANSPETRO.....	27
FIGURA 3.3	Tabela com Tempos Operacionais Máximos e Mínimos	35
FIGURA 4.1.	Componentes em série.....	39
FIGURA 4.2.	Componentes em paralelo.....	40
FIGURA 5.1.	Fluxograma das atividades da Cadeia de Suprimento....	50
FIGURA 5.2.	Fluxograma do procedimento proposto.....	53
FIGURA 5.3.	Estrutura Hierárquica do ARENA.....	56
FIGURA 5.4.	Fluxograma do procedimento em ARENA.....	61
FIGURA 5.5.	Programa em ARENA.....	67
FIGURA 6.1.	Esquema do oleodutos de S.Sebastião para a REPLAN e REVAP pelo terminal de Guararema.....	70
FIGURA 6.2.	Fluxograma do procedimento em ARENA para o estudo de caso.....	75
FIGURA 6.3.	Curva de distribuição de probabilidade do tempo total....	79
FIGURA 6.4.	Curva de distribuição de probabilidade acumulada do tempo total.....	79
FIGURA 6.5.	Tabela Resultado de Confiabilidade.....	80
FIGURA 6.6	Tabela de Variação Máxima das Atividades do Estudo de Caso.....	81
FIGURA 6.7.	Tabela das Curvas de Distribuição Original, com Variância pela Metade e Variância Zero.....	82
FIGURA 6.8.	Atividade Modificada: Viagem de Arzew a S.Sebastião (Variável: Velocidade do Navio).....	82
FIGURA 6.9.	Atividade Modificada: Tempo de Chegada e Início de Operação em S.Sebastião.....	83

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E TERMOS ESPECÍFICOS

API – American Petroleum Institute

Bbl – Barril

Commodity – Mercadoria

Cross Docking – Distribuição de mercadoria utilizando pontos intermediários

Derrota – Navegação de uma viagem traçada na carta náutica

DWT – Deadweight = Toneladas de Porte Bruto

EDI – Eletronic Data Interchange = Intercâmbio Eletrônico de Dados

FPSO – Floating Production, Storage and Offloading System = Sistema de Produção, Estocagem e Carregamento Flutuante

Ft – Pés

IMO – International Maritime Organization = Organização Marítima Internacional

JIT – Just in Time = Política de Suprimento

KANBAN – Sistema de Programação de Produção

NOR – Notice of Readiness = Notificação de Pronto a Operar do Navio

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

$P(t_0 < t_L)$ – Função Distribuição de Probabilidade de t_0 Acumulada até t_L

R – Confiabilidade

$R(t_L)$ – Confiabilidade de uma Atividade Operar em um Tempo Menor que t_L

RAM – Random Access Memory = Memória de Acesso Randômico

REPLAN – Refinaria do Planalto

REVAP – Refinaria do Vale do Paraíba

SAD – Sistema de Apoio a Decisão

T_0 – Tempo de Operação

T_L – Tempo de Operação Limite

TOE – Tonelada de Óleo Equivalente

T_P – Tempo de Operação Padrão

TPB – Toneladas de Porte Bruto

ULCC – Ultra Large Crude Carrier = Navios para transporte de óleo cru com mais de 300.000 TPB

VLCC – Very Large Crude Carrier = Navios entre 200.000 TPB e 300.000 TPB

CAPÍTULO I - RISCO NA CONTINUIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO INTEGRADA

1.1. Introdução

Um dos principais objetivos da logística [1] é reduzir a incerteza na cadeia de suprimento gerada pela estrutura da cadeia logística, pelas condições de operação e pela qualidade das operações que combinam randomicamente gerando variância nos resultados finais.

Independente do nível de tecnologia utilizado, a variância operacional ocorre como resultado das mudanças diárias na carga de atividades e da resolução de eventos não esperados. O tempo de processamento de pedidos e sua variância estão relacionados com a carga de trabalho, a automação e as políticas relativas à operação de crédito. Os atrasos de atendimento dos pedidos estão relacionados à capacidade, tecnologia utilizada no manuseio de material e por recursos humanos. O tempo de transporte é uma função da distância, lote de embarque, tipo e modal de transporte e condições de operação. Também, o instante da entrega final do produto aos clientes varia com os tempos para a autorização de recebimento, horários de entrega, disponibilidade de força de trabalho e requisitos de equipamento e descarga especializados.

O objetivo da cadeia logística é operar no tempo esperado e num padrão preestabelecido. Atrasos podem resultar em quebra de operações. Se tais atrasos ocorrerem regularmente, se torna necessário estabelecer o estoque de segurança para cobrir as variações. Se a operação ocorrer mais rápido que o esperado, ajustes devem ser feitos para manusear e estocar produtos que chegam antes do necessário.

As duas situações, atraso e adiantamento, geram custos e portanto deve ser buscada a operação mais consistente possível. Uma vez que essa consistência operacional seja atingida, todo o esforço deve ser concentrado na redução da duração planejada da cadeia logística. Enquanto a consistência é o primeiro objetivo, pedidos mais rápidos reduzem o risco de falta de produtos e melhoram a performance do suprimento.

Uma cadeia logística importante nos dias de hoje é a de suprimento de petróleo [2], processo físico que une mercado, refinarias, negociantes e produtores e é visto como um difícil e complexo comércio de transporte e estocagem. A logística do petróleo tem um tremendo impacto na economia mundial e é crítica em períodos de crise.

A maioria dos estoques mundiais de petróleo é usada para operar o gigantesco sistema de suprimento global sendo que a tendência, desde o início dos anos 90, tem sido manter o estoque arbitrário o mais dependente possível do aspecto econômico, ou seja, aumentar ou reduzir estoque em função de preço e perspectivas de mercado, e em minimizar os estoques operacionais. Consequentemente, o funcionamento dos sistemas de transportes e estocagem se torna mais crítico para assegurar o suprimento adequado.

Além destes aspectos, a variabilidade dos mercados de óleo cru e seus derivados cresceu muito nos últimos 25 anos [3]. A partição da cadeia de suprimento, do poço ao consumidor final, em múltiplos mercados altamente competitivos, que anteriormente eram integradas pertencendo a uma ou outra companhia de petróleo, impulsionou o crescimento desta variabilidade e de incertezas fundamentais no mercado de óleo cru.

Essa partição propiciou situações, como por exemplo, de um produto refinado vendido de uma refinaria para um negociador que transfere o produto usando transporte marítimo ou oleoduto independente para um operador de um terminal também independente, antes de vender o produto outra vez para um comerciante independente que transfere o produto de caminhão para um posto de serviço de propriedade e operado por um distribuidor de marca.

Por outro lado, regras e regulamentos ambientais requerem novas características de combustíveis que variam de região para região, aumentando dramaticamente o número de produtos de petróleo que as organizações petrolíferas devem gerenciar. Suprimento e demanda voláteis obrigam as companhias a desenvolver um forte e analítico gerenciamento de estoque, assim como ferramentas e processos de programação. Com

isto, as companhias de petróleo tiveram que aplicar novas formas de gerenciamento da cadeia de suprimento que incluíssem riscos, considerando-se custos operacionais e atendimento de mercado.

No Brasil, a integração do mercado de petróleo se manteve até 1998, quando houve a quebra do monopólio exercido pela Petrobrás. O processo de partição da cadeia de suprimento começa a ocorrer com a criação da Transpetro, atual operadora de navios, terminais e dutos, que permite o livre acesso de qualquer empresa aos dutos e aos terminais, o que anteriormente era de uso exclusivo da Petrobras.

1.2. O objetivo

O objetivo desta dissertação é obter um procedimento para determinar os parâmetros associados as diferentes atividades da cadeia logística que, em tempo e espaço, possam representar um determinado risco de atraso, medido em termos de probabilidade do cumprimento do nível de serviço estabelecido pela empresa.

Neste trabalho será focado o abastecimento de petróleo importado, considerando a cadeia a partir das fontes de produção até as tancagens nas refinarias.

1.3. Justificativa

Cada etapa das atividades da cadeia logística está sujeita a imprevistos que colocam em risco o abastecimento, risco este aumentado pela partição da cadeia logística de suprimento, que possibilita o incremento de falhas operacionais e técnicas que provocam a descontinuidade da cadeia. Estas falhas trazem como consequências as perdas de vendas, perdas de clientes e, ainda, a perda de credibilidade no mercado.

Havendo a partição da cadeia de suprimento de petróleo no Brasil, um estudo mais profundo do comportamento desta cadeia se torna necessário afim de se determinar os pontos críticos que podem causar a sua descontinuidade ou a sua falha.

Devido a complexidade destes novos tipos de gerenciamento, a simulação apresenta-se como ferramenta para análise da cadeia logística de suprimento de petróleo. Esta técnica permite incorporar no seu desenvolvimento todos os fatores mencionados com os seus inter-relacionamentos.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho se desenvolve em 6 capítulos:

No capítulo I apresenta-se uma introdução da cadeia logística de suprimento de petróleo ressaltando a sua importância, assim como a justificativa, o objetivo e a composição da dissertação.

No capítulo II apresenta-se a uma base introdutória à logística, histórico do seu desenvolvimento e as principais atividades envolvidas, o mercado do petróleo no contexto mundial e no Brasil, algumas características do produto e um breve relato sobre a logística do suprimento e distribuição do petróleo com os seus principais modais de transporte no mundo.

No capítulo III apresentam-se as atividades da cadeia de abastecimento de petróleo associadas as causas de possíveis atrasos.

No capítulo IV define-se o risco ou a confiabilidade de um sistema com suas propriedades. Também a simulação é introduzida como ferramenta de análise de risco.

No capítulo V apresenta-se um procedimento para a determinação da confiabilidade do suprimento de petróleo importado com a utilização de modelos de simulação.

No capítulo VI apresenta-se um estudo de caso desenvolvido para a importação de condensado argelino de Arzew com descarga no terminal de São Sebastião e

transferência para uma das refinarias de São Paulo com o objetivo de se mostrar a aplicabilidade do procedimento proposto.

Finalmente, no capítulo VII apresentam-se as conclusões e as recomendações do trabalho.

Existem, também, 7 anexos nos quais são apresentadas as distribuições de probabilidade dos tempos de carregamento em Arzew, das velocidades das viagens de Arzew para S.Sebastião, do tempo entre a chegada em S.Sebastião e início de operação de descarga, do tempo de descarga em S.Sebastião, dos volumes movimentados de S.Sebastião para a refinaria, das vazões dos volumes movimentados de S.Sebastião para a refinaria e da distribuição de probabilidade do tempo total da cadeia e um apêndice que apresenta as características das distribuições GAMMA, BETA, WEIBULL e TRIANGULAR.

CAPÍTULO II - LOGÍSTICA

2.1. Definição

Todo processo produtivo envolve insumos e produtos. Os insumos são basicamente a matéria-prima e os materiais necessários para que se possa manufaturar o produto ou os produtos. A logística está relacionada com a movimentação desses insumos e produtos.

Há várias definições para Logística: Ballou [4] define **logística empresarial** como a função que trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos e serviços desde a aquisição da matéria-prima até ao consumidor final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos e serviços em movimento, com o propósito de providenciar níveis de atendimento adequados aos clientes a um custo razoável.

O " Council of Logistics Management" [1] define a **logística** como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e eficaz de matérias-primas, estoque de produtos acabados e semi acabados e do fluxo de informação a eles relativos, desde a origem até o consumidor final, com o propósito de atender os requisitos dos clientes.

Pode-se concluir dessas duas definições que a logística está relacionada com a forma como uma empresa planeja, implementa e mantém suas operações para a colocação dos insumos nas áreas de produção e suas operações para a colocação do produto nos consumidores finais. Inclui o projeto e a administração de sistemas para controlar o fluxo de material, processo de produção e inventários finais para suportar a estratégia de negócios da empresa.

O objetivo geral da logística é atingir um nível determinado de serviço ao cliente ao menor custo total possível.

2.2. Breve histórico

Antes de 1950 as atividades da logística eram práticas, não havendo conceitos ou teorias de integração concretos. O gerenciamento era fragmentado em processos individuais de suprimento, entrega e armazenagem.

O intervalo entre o início dos anos de 1950 até a década de 1970 representa a época do surgimento e expansão da teoria para as práticas da logística. O marketing estava bem estabelecido e reconhecia a necessidade da melhoria da distribuição física, ainda muito negligenciado pelas firmas. Peter Drucker [5], renomado escritor e consultor de administração de empresas, dizia na época que as atividades de distribuição eram as áreas de negócio mais promissoras da América.

Quatro condições econômicas principais foram identificadas como provocadoras do desenvolvimento da logística:

1. Alterações nos padrões e atitudes da demanda dos consumidores: os consumidores demandavam maior variedade de produtos havendo deslocamentos dos estoques que estavam nas lojas para os fornecedores ou centrais de distribuição especializadas, sendo necessárias entregas com maior frequência aumentando a importância da distribuição.
2. Pressão por custos menores nas indústrias: períodos de recessão forçaram os administradores a procurar maneiras de melhorar a produtividade, com a redução dos custos nas empresas. Como as atividades de vendas e promoções já não rendiam financeiramente, os administradores se concentraram na redução dos custos das empresas e na logística como a última fronteira para redução destes.
3. Avanços nas tecnologias dos computadores: que permitiram que complexos problemas de logística fossem otimizados. Muitas ferramentas matemáticas já haviam sido descobertas, porém, eram de difícil aplicação sem auxílio das máquinas que permitiram que programas fossem desenvolvidos. Foi possível, então, modelar matematicamente problemas logísticos, permitindo otimizar a localização de depósitos, estoques, roteirizar e

programar veículos, trazendo economias significativas na área da logística.

4. Influências do trato com a logística militar: a área militar já estava bem organizada no que se refere a logística servindo como uma fonte inestimável para o desenvolvimento da logística empresarial.

Após o ano de 1970, observa-se que os princípios básicos da logística empresarial estavam estabelecidos, mais ainda em um estado de semimaturidade.

A competição mundial nos bens manufaturados começou a crescer ao mesmo tempo em que acontecia a falta de matérias-primas de boa qualidade.

Assim, em 1980, surge a chamada **logística integrada** que envolve a coordenação do planejamento operacional, informação, transporte, inventário, armazenagem, estocagem, manuseio de materiais e empacotamento, isto é, o suprimento físico (insumos) e a distribuição física (produtos para os clientes).

A ocorrência da desregulamentação dos transportes no EUA em 1980 expandiu o leque e a combinação de serviços existentes no mercado. Serviços terceirizados surgiram em larga oferta e as aplicações de comunicação e informatização aceleraram o uso do EDI (Electronic Data Interchange), código de barras e computadores pessoais.

Na década de 1990, houve a integração externa com o surgimento do "Supply Chain Management" (gerenciamento da cadeia de suprimento) que permite a integração e gerencia de todas as atividades logísticas, internas e externas das empresas, desde os fornecedores até os consumidores finais, criando assim uma cadeia de suprimentos.

Basicamente, o produto oferecido por qualquer empresa pode ser descrito pelo seu preço, sua qualidade e a qualidade do serviço prestado pela empresa. O marketing cria diferentes combinações dessas três características básicas para atuar nos segmentos de mercado desejado.

Ballou [4] coloca três grupos de fatores relacionados com a transação do produto: elementos de pré-transação, transação e pós-transação.

Os elementos de pré-transação estabelecem por escrito uma política para o nível de serviço praticado pela empresa, deixando claro aos clientes o que eles podem esperar dos serviços oferecidos. Incluem planos de contingência para imprevistos, criando a estrutura organizacional para implementação desta política e providenciando treinamento técnico ou manuais para os clientes.

Os elementos de transação estão diretamente envolvidos nos resultados obtidos com a entrega do produto ao cliente: ajuste de níveis de estoques, seleção de modos de transporte, determinação de procedimentos para processamento de pedidos, tempo de entrega, condição da mercadoria na entrega ao cliente, disponibilidade de estoques e outros.

Os elementos de pós-transação representam os serviços necessários para apoiar o produto no campo, proteger consumidores de produtos defeituosos, retorno de embalagens, reclamações, devoluções e outras solicitações.

O **nível de serviço** da empresa pode ser definido como a soma desses elementos, pois os clientes reagem a este conjunto total.

Por sua vez, Bowersox [1] identifica três dimensões fundamentais do nível de serviço ao cliente: disponibilidade do produto, performance operacional e confiabilidade.

Disponibilidade do produto é a quantidade de produto em estoque para atender os requisitos do cliente. Conforme o tradicional paradigma, alta disponibilidade de estoque requer grandes investimentos, entretanto, a tecnologia da informação está permitindo novas formas de se atingir alta disponibilidade de estoques sem associar aos investimentos de alto capital.

Performance operacional lida com a diferença do tempo entre o recebimento de um pedido até a entrega do produto, envolvendo consistência, velocidade na entrega e **flexibilidade** com que uma firma pode atender pedidos não usuais ou inesperados de clientes. Naturalmente, a maioria dos clientes deseja uma entrega rápida. No entanto, esta têm valor limitado se for mal realizada. Para atingir um nível de operação adequado, as firmas procuram primeiro obter consistência do serviço e então aumentar a velocidade de entrega. Outros aspectos da performance operacional importantes são as **falhas de funcionamento** e o **tempo** para se corrigir a falha. A falha no funcionamento se refere a probabilidade de manuseio de produtos danificados, documentação incorreta e outras. A performance de uma firma, neste caso, pode ser medida em termos do tempo necessário para se corrigir o erro.

Confiabilidade no serviço envolve atributos de qualidade da logística como medidas de disponibilidade de estoque e de performance operacional.

Para que a performance logística possa continuamente atender às expectativas dos clientes, é essencial que o gerenciamento da firma esteja comprometido com a melhoria contínua.

Em uma análise final, o serviço logístico é um balanço entre o serviço e o custo. Se o material específico não estiver disponível quando requerido pela manufatura, pode causar a parada de uma planta, provocando um custo significativo e uma perda potencial de vendas e mesmo a perda de um grande cliente. O impacto nos lucros de tal falha pode ser significativo. Por outro lado, o impacto nos lucros por uma falha de suprimento de um armazém pode ser mínima ou mesmo insignificante em termos de impacto na performance operacional total.

2.3. Atividades logísticas

Os processos básicos [6] considerados para um sistema logístico integrado genérico são:

- fornecimento de matéria-prima;
- administração de materiais;
- manufatura do produto;
- distribuição dos produtos;
- recebimento dos produtos;

Entre o fornecimento de matéria-prima e a manufatura está o transporte, ou seja, a transferência da matéria-prima do fornecedor até ao fabricante. Por sua vez, o fabricante controla o recebimento da matéria-prima e seu estoque. Após a manufatura, o estoque do produto a ser transportado para o cliente que possibilita o acesso do consumidor ao produto, deve ser também controlado.

Os agentes responsáveis pelo processo integrado são o fornecedor, o fabricante, o distribuidor, o cliente e o consumidor.

Os processos de administrar materiais e de distribuir produtos estão intimamente ligados a logística empresarial.

O primeiro processo pode ser dividido em dois grupos de atividades:

Atividades específicas da administração de materiais: estas atividades por sua vez compreendem as atividades de **acompanhamento dos pedidos** a fornecedores que envolvem: a) rastreamento de pedidos ou seja, o acompanhamento dos pedidos ao fornecedores incluindo a condição corrente do pedido e as datas previstas para entrega; b) rastreamento de veículos, ou seja, o acompanhamento da posição dos veículos que transportam os materiais e produtos pedidos, em tempo praticamente real, através de um sistema via satélite ou rádio, com objetivos tais como gerenciar o processo logístico de

forma mais eficiente, aumentar a segurança, monitorar o desempenho dos veículos entre outros; **recebimento de materiais** e componentes, que envolve: a) conferência física que é a verificação da condição física dos materiais e produtos recebidos quanto à integridade dos mesmos e das embalagens e quanto à conformidade em termos de qualidade e variedade; b) conferência quantitativa que é a verificação da conformidade de materiais recebidos no tocante à quantidade; c) conferência documental que é a verificação da conformidade dos documentos relativos aos materiais e componentes recebidos, tais como notas fiscais, manuais, certificados, entre outros; **transporte primário** que consiste na execução e contratação e gerenciamento do transporte de materiais e componentes, adquiridos pelo fabricante, desde os fornecedores até as suas instalações, com a verificação da conformidade e da qualidade do transporte; **paletização de materiais** e componentes que é a consolidação de diversas unidades de materiais e componentes visando tornar mais ágeis e seguras as operações de manuseio, armazenagem, movimentação através de empilhadeiras e paleteiras, transbordo e transporte, reduziam de em grande parte a mão-de-obra e agilizando o processo de movimentação do produto; **armazenagem** que é a atividade que permite manter bens e materiais, secos ou refrigerados, em instalações adequadas, podendo ser alfandegadas, no caso de bens e materiais com origem ou destino no exterior, ou não alfandegada, no caso de bens com origem e destino no território nacional. Para prestar serviços eficientes de armazenagem é preciso de no mínimo, dispor de instalações adequadas, estar de acordo com a legislação e com as regras das entidades legais (corpo de bombeiros, vigilância sanitária, entre outros), ter condições de atender às necessidades dos clientes em termos de docas de recebimento e expedição, de equipamentos de movimentação, de sistemas distantes ou áreas convenientes, climatização quando necessário, entre outras, contar com uma equipe de colaboradores com funções adequadas, bem treinados e que sejam reciclados através de cursos e outros meios, com a frequência adequada, dispor de sistema de administração de armazém adequado a cada caso, incluindo, quando necessário, sistemas de impressão e leitura de código de barras e de rádio frequência, ser capaz de controlar e responsabilizar-se pelas avarias, realizar o controle de qualidade adequado, na entrada dos bens materiais armazenados, quando necessário, possuir apólice de seguro para as instalações e para os bens materiais, emitir a documentação de despacho, de

acordo com a legislação, executar unitização quando necessário; **controle de estoques** para o que deve se obter de cada cliente a política a ser seguida no controle de seus estoques, controlar e responsabilizar-se por quantidades, localização e valores do estoque físico do cliente, enquanto o mesmo estiver sob sua guarda, utilizar técnicas e meios modernos para acompanhar a evolução dos estoques no tempo, em termos de quantidades e localização e para informar o cliente a respeito, com a periodicidade adequada, emitir relatórios periódicos sobre os estoques, garantir a rastreabilidade dos produtos; **identificação de volumes** embalagens e paletes através de marcações ou etiquetas; **expedição de materiais** e componentes: envio de materiais e componentes para os armazém ou áreas industriais.

Atividades de administração de materiais junto a manufatura: que são atividades desenvolvidas com os objetivos de agilizar e reduzir custos do processo produtivo e podem incluir o kanban, que é uma técnica japonesa de gestão de materiais e de produção, sinalizado através de um cartão onde é apontada a necessidade ou não de peças na linha de produção; o JIT (just in time), que é uma filosofia de manufatura baseada no fato dos materiais e componentes chegarem ao local de produção exatamente no momento em que serão necessários, permitindo a redução a zero dos estoques dos componentes básicos. Resume-se em prover as partes necessárias no local correto e no momento certo, a preparação de kits de produção que é a separação dos materiais e componentes necessários à produção de um lote programado, o abastecimento de linha que é a transferência para a posição de entradas na linha de produção dos materiais e componentes necessários, no momento oportuno, com controle exercido por meio visual, auditivo ou através de sistema planejado, ou outras técnicas de armazenagem.

O segundo processo pode ser dividido em quatro grupos de atividades:

Atividades da distribuição junto a manufatura: compreendem a **embalagem** de produto acabado ou semi acabado que é a aplicação do invólucro com o objetivo de proteger, preservar e dar condições de comercialização aos mesmos; a **unitização** que é um processo de consolidação de diversos volumes em um só, podendo ser: paletização

de produto acabado e semi acabado que é a consolidação de diversas unidades sobre uma plataforma de madeira ou outro tipo de material, visando tornar mais ágeis e seguras as operações de manuseio, armazenagem, movimentação através de empilhadeiras e paletes, transbordo e transporte, reduzindo em grande parte a mão-de-obra e agilizando o processo de movimentação do produto, containerização que é a consolidação de produtos acabados em contêineres, para serem movimentados até ao descarregamento final, em geral no exterior; a **armazenagem**; a **identificação** de volumes; a **conferência física**; a **montagem de kits comerciais** de produto acabado, que é o agrupamento de uma quantidade de produtos destinados a atender um pedido especial, em geral associado a promoções, montados em embalagens específicas para atender à necessidade da área de vendas e clientes, formando um novo item de estoque; **roteirização** que é a atividade de programação e ordenamento de entregas, em geral realizados através de um software específico; **geração e controle de documentos** que é a geração e controle de documentos tais com ordem de coleta, conhecimentos de embarque, manifestos de carga, autorizações de movimentação e embarque de notas fiscais; **expedição industrial** que é o processo de expedição de produtos acabados ou semi acabados a partir da fábrica; **distribuição direta** da fábrica que é a entrega de produto acabado diretamente da fábrica para clientes; **transferência para centros de distribuição** que é a movimentação de produto acabado ou semi acabado da fábrica para centros de distribuição do próprio fornecedor, de prestador de serviços logísticos ou de terceiros, para armazenagem e posterior distribuição; **rastreamento de veículos**;

Atividades específicas da distribuição: consistem no **recebimento de produtos** acabados e semi acabados provenientes da produção local ou do exterior; **desconsolidação** que é a separação de cargas que chegam consolidadas em paletes ou contêineres, com vários produtos de um mesmo cliente ou de clientes diferentes, provenientes do mercado interno ou do exterior; **conferência física**; **nacionalização** de produtos importados que é a substituição de rótulos, manuais e outros documentos, por similares escritos no idioma português, na nacionalização de produtos importados; embalagem de produto acabado; **armazenagem**; **controle de estoques**; **unitização**; separação de unidades de itens, caixas e paletes, visando o atendimento aos pedidos de

clientes; **montagem de kits** comerciais de produto acabado; **identificação** de volumes; **roteirização**; **geração e controle de documentos**; **expedição de produto acabado**; **distribuição direta** da fábrica; **distribuição a partir de centros de distribuição**; **transferência** entre centros de distribuição ou a movimentação de produto acabado ou semi acabado de um centro de distribuição para outro, em geral, para ajustar os estoques às demandas reais; **cross docking** que é a operação em geral realizada num centro de distribuição, na qual os veículos chegam com as cargas, são descarregados, feita uma separação das mesmas e reembarcadas em outros veículos, muitas vezes menores, visando direcionar a nova composição de carga para destinos pré-estabelecidos (a carga não é armazenada no centro de distribuição onde sofre o cross docking) e **rastreamento** de veículos;

Atividades da distribuição junto ao cliente: compreendem **entrega** de produtos secos ou refrigerados; **abastecimento de gôndolas** que é o controle dos estoques no ponto de vendas, através da conferência das quantidades e do reabastecimento das mesmas; **retirada de paletes** (estrados) vazios para a liberação de área e futura utilização dos mesmos; **retirada de devoluções** que é o recebimento e novo destino dos materiais e / ou produtos que tenham sido devolvidos pelo cliente do fornecedor e

Atividades da distribuição junto ao consumidor: compreendem **entrega** direta do fornecedor ao consumidor que é a expedição de produtos podendo incluir os serviços inerentes à expedição, além do acompanhamento e controle de todo o processo até o recebimento, como no caso de consórcios; **serviço de atendimento ao consumidor** que basicamente envolve: a) instalação que o serviço de implantação e / ou colocação do produto no ponto de interesse do consumidor, permitindo a sua total operacionalização; b) troca de produtos que é a retirada e substituição de itens adquiridos pelo consumidor, por motivo de avarias ou outro motivo técnico.

Todas essas atividades devem ser coordenadas através de um planejamento e uma programação integrada objetivando garantia de realização e baixo custo ou máximo lucro. Elas tem associadas medidas de desempenho essenciais para que uma empresa possa

avaliar os resultados de sua atuação. Essas medidas de desempenho dependem de metas a serem atingidas previamente definidas.

Para obter essas medidas de desempenho, algumas atividades são necessárias. Dentre elas, destacam-se: a monitoração, o controle das operações e o direcionamento das operações logísticas.

As **medidas de monitoração** visam acompanhar, no tempo, o desempenho dos processos logísticos, objetivando seu relato à gerência e aos clientes.

As **medidas de controle das operações**, por sua vez, permitem acompanhar o desempenho ao longo da execução. São utilizadas para refinar um processo logístico, com intuito de torná-lo compatível com os padrões estabelecidos. Um exemplo de aplicação de controle é o acompanhamento das avarias ocorridas no transporte. Se existe um procedimento para relatar periodicamente a ocorrência de avarias em produtos no processo de transporte, a administração logística pode identificar a causa e ajustar os processos de embalagem ou de carregamento conforme necessário.

Finalmente, as **medidas de direcionamento** são projetadas para motivar as equipes de trabalho. Como exemplo, podem ser citados os sistemas de pagamento por desempenho, utilizados para incentivar o pessoal operacional de armazém e de transporte a obter altos níveis de produtividade. Se as operações são completadas num tempo inferior ao padrão, os operadores podem, por exemplo, obter tempo livre para atividades pessoais e seu tempo for superior ao padrão, os mesmos podem não ser compensados pelo tempo adicional necessário. A compensação pode ser também um bônus.

As medidas do desempenho, que avaliam a performance, podem ser baseadas em atividades ou em processo. Quando baseadas em atividades destacam-se a eficiência e a eficácia dos esforços de cada atividade específica, enquanto que as baseadas em processos consideram a satisfação do cliente o requisito fundamental.

De forma geral, as medidas do desempenho logístico contemplam, entre outros, os seguintes parâmetros: custos de transporte, armazenagem, prazo de entrega, tempos de movimentos, tempo de atendimento a pedidos, taxa de ocupação de veículos, níveis de estoque, número de devolução, número de avarias, número de pedidos atendidos, número de reentregas, obsolescência e frequência de falta de mercadorias.

2.4. Mercado de petróleo

Entre 1990 e 2000, o consumo mundial de energia primária, ou seja, petróleo, gás natural, carvão e energia elétrica obtida através de sistemas hidráulicos e nuclear, cresceu a uma taxa média anual de 1,1%, variando de 7885,7 de milhões de TOE para 8752,4 milhões de TOE (Toneladas de Óleo Equivalente) [7].

Neste período a produção mundial de petróleo cresceu 13,4%, de 65,4 para 74,5 milhões de barris por dia, ou de 3164,1 milhões de TOE para 3589,6 milhões de TOE, sendo em 2000 a fonte de energia primária mais importante no mundo respondendo por 40% de toda a produção mundial de energia primária [7].

Os três maiores produtores de petróleo do mundo em 1998 foram a Arábia Saudita respondendo por 12,3%, os Estados Unidos com 9,8% e a Rússia respondendo por 9% da produção mundial respectivamente [7].

O maior consumidor de petróleo, os Estados Unidos, absorvem quase 25,6% da produção mundial, cerca de 18,74 milhões de barris por dia em 2000, seguido do Japão com 5,5 milhões de barris por dia, cerca de 7,2%, e da China com 4,84 milhões de barris por dia, cerca de 6,5% [7].

No caso do Brasil o petróleo é a fonte primária mais utilizada respondendo por cerca de 64% de toda a energia primária produzida no país, ou seja, 84 milhões de TOE de um

total de 132,7 milhões de TOE, em 2000. A hidráulica é a segunda colocada respondendo por 19,7% [7].

A produção de petróleo do Brasil cresceu de 650.000 barris por dia para 1.255.000 barris por dia entre 1990 e 2000 [7].

Como o petróleo é um produto nobre de grande importância para a economia mundial e fonte de energia das mais viáveis do ponto de vista econômico, a dependência dos países em relação a sua produção é grande e gera grandes impactos nas economias quando há a variação dos seus preços.

2.4.1. O Brasil no mercado de petróleo

Os dois embargos do petróleo ocorridos na década de 1970 (1973 e 1978), realizados pela opep (organização dos países exportadores de petróleo) com o intuito de valorizar o petróleo em escala mundial, causaram elevação dos preços, implicando na redução do crescimento do mercado mundial, com aumento da inflação e consequentemente, redução do crescimento da produtividade. O aumento do preço do petróleo afetou diretamente os custos de transporte, e, a inflação, juntamente com a competição, impulsionaram os custos de capitais para cima aumentando os custos dos estoques. Em realidade, a logística foi uma das áreas mais afetadas pelo aumento do preço do petróleo.

Esses dois choques no preço do petróleo causaram grande impacto no balanço de pagamentos do país, o Brasil se concentrou na exploração e prospecção do petróleo buscando a sua auto-suficiência.

Assim, a retração da demanda, o controle de custos, a produtividade e controle de qualidade passaram a ser áreas de interesse por garantirem a lucratividade.

Na década de 80 os poços mais promissores encontrados estavam na plataforma continental e a profundidades maiores que 300 m necessitando do desenvolvimento de uma tecnologia específica para extração do petróleo em águas profundas.

Na década de 90, com a descoberta de poços gigantes a mais de 1.000 m de profundidade houve necessidade de se aprimorar a técnica para perfurar e produzir petróleo em tais profundidades.

Hoje, o país possui tecnologia tal que pode extrair petróleo em profundidade próximas a 1.700. Porém, o tipo de petróleo produzido na maioria destes grandes poços produtores é óleo pesado exigindo que as refinarias no Brasil se adaptem para processá-lo, uma vez que na época em que elas foram construídas a dependência do petróleo externo, basicamente do oriente médio, tem características diferentes das do óleo pesado. Como as refinarias ainda não estão totalmente adaptadas ao tipo de petróleo é necessário fazer uma mistura com outros mais leves de forma a possibilitar um refino mais adequado às necessidades de produtos no mercado brasileiro. Assim, se faz necessário a importação. Atualmente a produção brasileira se aproxima dos 1.300.000 barris por dia e importa em torno de 150.000 barris por dia¹.

Entretanto, há tendência de aumento de produção de petróleo no Brasil², principalmente do tipo pesado, que não será totalmente absorvido nas refinarias, e a alternativa mais viável então será a exportação.

2.4.2. A Petrobras no mercado de petróleo

Embora o Brasil busque a auto-suficiência, a abertura na área de petróleo, havendo a quebra do monopólio exercido pela Petrobras, empresa brasileira de petróleo e a possibilidade de importação de produtos competindo com os dessa companhia, levam a mudanças na estratégia de produção da mesma.

A "Petroleum Finance Company" destaca a importância, para as empresas de petróleo semelhantes a Petrobrás que estão emergindo no cenário mundial, de se combater a

¹ Site na Internet da Agencia Nacional de Petróleo para o ano 2000

² Plano Estratégico da Petrobras 2001

competitividade de produtos importados com o controle da logística no mercado doméstico, mantendo custos baixos na distribuição interna dos produtos. Porém, o petróleo, como matéria-prima, também está na cadeia de suprimento, e, portanto, não pode haver falhas no seu funcionamento, para evitar impactos negativos no atendimento do mercado.

2.4.3. Características do petróleo

O petróleo tem diversas características, tais como a densidade, viscosidade, percentual de enxofre, ponto de congelamento, número de octano, facilidade de craqueamento e outras, porém em especial a inflamabilidade que pode provocar explosões e incêndios quando do seu manuseio, armazenamento ou durante transferências.

Procedimentos e sistemas de segurança tem sido criados com o intuito de reduzir este tipo de risco, que impacta tanto no aspecto operacional, com quebra da cadeia de suprimento, quanto no aspecto ambiental gerando inclusive risco de vidas humanas.

Outra característica também importante do petróleo é sua relação com o meio ambiente: vazamentos afetam a flora e fauna tanto marinha quanto terrestre.

Com as aplicações dos conceitos de desenvolvimento sustentado, as leis antipoluição estão cada vez mais restritivas e as multas cada vez mais elevadas, forçando as empresas a investirem em procedimentos e sistemas para evitar derramamento de petróleo.

Assim como incêndios e explosões podem causar a quebra da cadeia de suprimento, a poluição também pode ter o mesmo efeito prejudicial, e portanto é, da mesma forma, danosa para a empresa.

2.4.4. A logística do mercado de petróleo

O tamanho e a complexidade do mercado de óleo cru ou petróleo [2] são únicos entre as commodities físicas, com mais de 400 bilhões de dólares por ano em transações físicas, envolvendo diferentes graus de óleo cru sendo distribuídos para centenas de refinarias espalhadas pelo mundo, sendo que, os modais de transporte mais importantes são o aquaviário e o dutoviário.

2.4.4.1. A frota aquaviária mundial

A frota de petroleiros, definida como navios tanques com mais de 60.000 dwt, totaliza aproximadamente 240 milhões dwt. mais da metade da capacidade da frota é constituída por navios de mais de 200.000 dwt. Cerca de 75% da tonelage pertencem a armadores independentes; 10% pertencem à companhias independentes de óleo; 10% com países produtores de óleo e os remanescentes pertencem a companhias estatais de óleo [2].

A tendência à preservação ambiental tem feito com que organismos internacionais como a IMO (International Maritime Organization) imponha uma legislação visando a redução do risco de poluição. Uma das medidas imposta com esse fim é a substituição da frota marítima atual por navios de casco duplo que são mais seguros em caso de acidentes. Aproximadamente, 25% da tonelage corrente é de navios de casco duplo. Esta porcentagem deve, pela força da legislação, crescer até 2015 [2], quando então, todos os navios tanques deverão ter casco duplo.

A frota mundial de petroleiros está composta das seguintes classes:

- Aframax : navios com porte bruto entre 60.000 tpb e 120.000 tpb
- Suezmax: navios com porte bruto entre 120.000 tpb e 200.000 tpb
- VLCC (very large crude carrier) : navios navios com porte bruto entre 200.000 tpb e 300.000 tpb
- ULCC (ultra large crude carrier): navios com mais de 300.000 tpb.

2.4.4.2. Aproveitamento dos navios tanques

A economia de escala faz com que os navios maiores tenham custo efetivo mais baixo, porém, existem várias restrições para o uso da classe de VLCC (Very Large Crude Carrier). Estas são de calado e/ou tamanho dos berços de atracação. No Golfo dos EUA e na costa Leste, por exemplo, VLCC totalmente carregados só podem descarregar no Louisiana Offshore Oil Terminal (LOOP) enquanto que demais portos são restritos aos Suezmax e muitas vezes aos Aframax. Outro tipo de restrição são os termos de contrato de um comprador de óleo que, em função das suas condições operacionais ou de mercado, define volumes que podem ser melhor manipulados em lotes que não são compatíveis com o uso de VLCC's.

O maior mercado em termos de tonelagem, distâncias e navios é o mercado de VLCC. VLCC e ULCC (navios com mais de 300.000 dwt) perfazem cerca de 54% da tonelagem total de navios petroleiros e eles transportam 90% do óleo cru carregado no Golfo Pérsico. Eles oferecem economia de escala bastante significativa para grandes quantidades e longas rotas como, por exemplo, do Golfo Pérsico para o Extremo Oriente. A dificuldade de comercialização para compradores e vendedores surge principalmente dos riscos do mercado de cru durante o longo período da viagem, porém, esses riscos têm sido superados através de fórmulas de preços específicas que não define o preço do óleo até que a carga esteja próxima de ser entregue. Para o comprador do EUA, o custo extra de alívio destes navios ou transbordo de óleo cru para permitir a atracação em portos americanos de pouco calado, devem também, ser considerados como parte do custo total. Mesmo assim, ainda é vantajoso transportar óleo cru do Oriente Médio para os EUA em VLCC's.

Há outros usos para os VLCC's fora do comércio do Oriente Médio. Eles estão sendo usados para viagens do Oeste da África para a Europa e para os EUA ou da Europa para os EUA. Além disso, VLCC's e ULCC's são favorecidos para serem usados como tancagem flutuante. Isto envolve tanto tancagem temporária como navios dedicados em permanente uso nos pontos de carregamento, particularmente para produção offshore. Navios velhos em boas condições mas que estão alcançando a idade mandatária de não

mais poderem operar, estão sendo vendidos para conversão em unidade FPSO's (Floating Production Storage and Offshore).

A classe de navios tanques Aframax, de 60.000 a 120.000 dwt, representa os menores navios tanques regulares de transporte de óleo cru. Eles são usados principalmente para viagens curtas no mercado do Caribe, Mediterrâneo, Mar do Norte e Oriente. Alguns operam em viagens mais curtas do Oriente Médio. O tamanho menor de carga, 500.000 bbl, possibilita flexibilidade e permite ao navio carregar e descarregar facilmente em praticamente qualquer terminal. Muitos navios desta classe também atendem as restrições de boca máxima de 106 ft (32,30 m) significando na prática um navio com limite superior de 60.000 dwt a 70.000 dwt, tamanho máximo que permite passar pelo Canal do Panamá. Alguns navios deste tamanho têm sido especialmente configurados para atender a plataformas de carregamento offshore no Mar do Norte e alguns outros lugares. Outros têm servido para aliviar grandes navios. Navios tanques deste tamanho também têm sido usados regularmente para transportar produtos escuros refinados como óleo combustível residual.

Suezmax, navios de 120.000 a 200.000 dwt, formam a classe intermediária de navios tanques de óleo cru. Eles dominam rotas comerciais particulares mas, adicionalmente, se sobrepõe significativamente as outras duas categorias. Suezmax comercializam principalmente do Leste do Mediterrâneo, Mar Vermelho e Oeste da África para os EUA e Europa. Eles também são usados para alguns transportes mais longos na Ásia, e algumas vezes são usados para levar óleo cru do Mar do Norte para os EUA e Mediterrâneo. Restrições nas exportações de óleo cru da Líbia e do Iraque atingiu o mercado de Suezmax fortemente, mas o crescimento em comércio com rotas curtas e o valor de sua flexibilidade durante períodos de incerteza do mercado, mantém seu apelo para muitos armadores. Embora seu nome derive da habilidade de passar totalmente carregado pelo canal de Suez, poucos o fazem, pois as taxas do canal são muito altas. O tráfego no Suez é dominado por navios tanques pequenos carregados, por navios de carga seca, e por navios tanques maiores, em lastro, indo para os portos de carregamento no Oriente Médio. Quando entregando nos EUA, os navios Suezmax também precisam ser aliviados

parcialmente para poderem atracar em portos de descarga com calado pequeno. O perfil de idade da frota de Suezmax é similar aos dos VLCC's, com um grande número de navios precisando ser substituído nos próximos 5 anos.

2.4.4.3. Oleodutos

Oleodutos fazem parte do mercado de óleo cru no mundo, embora sejam secundários aos navios tanques em termos de partilhamento do comércio que eles disputam [2]. Eles possibilitam saída para muitos óleos crus em terra, união crítica em grandes mercados continentais e atalhos em pontos geográficos chaves tais como Suez e Panamá. A principal justificativa para se usar oleodutos é a eficiência econômica, já que apresentam menor custo no transporte de produtos por terra das refinarias, dos centros de distribuição e das regiões de produção de óleo em comparação com a utilização de ferrovias ou caminhões, sendo que sua vantagem cresce a medida que aumenta o volume e a distância. Os oleodutos também podem ser competitivos com os navios tanques em algumas rotas por reduzirem significativamente a distância de movimentação ou quando houver restrições para a utilização de VLCC's e Suezmax.

No entanto, a vulnerabilidade política, operacional e de mercado do uso de oleoduto é um aspecto negativo pois eles podem somente transportar óleo ao longo da rota designada. Assim, se o comércio se reduz, eles podem se tornar obsoletos, se o mercado cresce podem ser necessários novas construções e se uma parada ocorre em um dos pontos, todo o suprimento para os restantes fica comprometido. Como exemplo de parada operacional, pode ser citada a ocorrida na primavera de 1996 quando uma carga de óleo parafínico se solidificou no oleoduto de Seaway cancelando-se o suprimento ao longo da costa do golfo dos EUA. No caso de parada política, podem ser citados os oleodutos que cortam o Oriente Médio, a Nigéria (1998-1999) e a Colômbia em que guerras, sabotagem e guerrilhas pararam o abastecimento.

2.5. Conclusão

A logística, com suas diversas cadeias de suprimento, busca atingir um determinado nível de serviço ao custo mais baixo possível. No caso mais específico da cadeia de suprimento de petróleo, com seus modais de transporte, principalmente navios e oleodutos, e suas estruturas de apoio em terra, terminais com tancagens e sistema de bombeio para transferência de produtos, formam um sistema complexo que está sujeito a vários riscos operacionais, legais e de mercado, que podem afetar o nível de serviço.

No próximo capítulo serão caracterizadas as principais causas de atraso inerentes a cadeia de suprimento de petróleo.

CAPÍTULO III – A CADEIA DE ABASTECIMENTO DE PETRÓLEO

3.1. Abastecimento de petróleo no Brasil.

O abastecimento de petróleo no Brasil é realizado pela Petrobrás, mesmo no caso de refinarias particulares, excetuando-se a de Manguinhos que pertence a REPSOL.

As fontes principais de abastecimento do petróleo nacional são a bacia de Campos, a bacia do Rio Grande do norte e o Urucu na Amazônia. A fonte mais importante é, sem dúvida, a bacia de Campos respondendo por 70% do petróleo nacional.

O petróleo importado tem como fontes principais o Golfo Pérsico e o Mar Vermelho, o Mediterrâneo (principalmente petróleo vindo da Argélia) e a América do Sul (principalmente da Argentina e Venezuela).

Tanto o petróleo nacional como os petróleos importados são distribuídos para as refinarias existentes, quatro em São Paulo e uma em cada um dos estados a seguir: Paraná, Rio Grande do Sul, Bahia, Amazonas, Ceará, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

O abastecimento é realizado por mar utilizando-se navios petroleiros de diversos portes, excetuando-se um poço de petróleo da bacia de Campos de onde o mesmo é conduzido por oleoduto passando por Macaé e chegando até o Rio de Janeiro (figura 3.1).

Os terminais de entrada estão em Tramandaí, São Francisco do Sul, São Sebastião, Rio de Janeiro, Madre de Deus, Mucuripe e Manaus (figura 3.2).



Figura 3.1:Refinarias no Brasil – site da Petrobras (www.petrobras.com.br)



Figura 3.2:Dutos e terminais operados pela Transpetro – site da Petrobras

3.2. Cadeia logística de abastecimento de petróleo no Brasil

A cadeia logística de suprimento de petróleo nacional é composta pelo transporte marítimo, recebimento e armazenamento pelos terminais e transferência dos terminais para as refinarias. Uma vez estando o petróleo colocado nos tanques da refinaria, considera-se que o produto está entregue e o tempo de armazenamento, tratamento e utilização posterior é de acordo com a programação da refinaria. Portanto, não está se considerando o armazenamento nos tanques da refinaria como parte da cadeia para efeito desse trabalho.

Podem-se, então, dividir as atividades da cadeia logística do petróleo nos seguintes grupamentos:

- Carregamento do navio no porto de carga
- Viagem do porto de carregamento para o terminal
- Descarregamento no terminal
- Armazenamento no terminal e transferência do terminal para a refinaria

Cada uma destas macro atividades consome tempo que depende de certas características e tem associado um risco inerente. Estas atividades podem ser decompostas em vários sub-componentes descritas a seguir:

3.2.1. Carregamento do navio no porto de carga

Esta atividade está composta pelas seguintes sub-atividades:

- Chegada do navio ao porto de origem do produto
- Atracação do navio no píer
- Conexão das redes de dutos do navio á rede de dutos do terminal
- Transferência do produto para o navio
- Desconexão das redes de dutos
- Desatracação

Quando um navio, vindo do exterior, chega a um porto, algumas providências são necessárias:

- Inspeção do navio pelas autoridades portuárias, sanitárias e de imigração.
- E emissão do 'NOR'(Notice of Readiness) informando que o navio está pronto a operar, ou seja, pode atracar e realizar as operações de carga ou descarga a qualquer momento dependendo apenas do terminal.

No caso do navio que já está operando no país em cabotagem as inspeções das autoridades portuárias e sanitárias são realizadas periodicamente.

Após o NOR ser emitido e aceito pelo terminal, há o período de 6 hr para que o terminal solicite a atracação do navio no pier. Caso o navio seja chamado neste período e não atenda a solicitação, o NOR é cancelado e o navio considerado fora de operação, o que significa o não pagamento do valor do aluguel do navio durante o período em que estiver fora de operação. Caso o navio não seja chamado durante o período de 6 hr, o navio passa a receber sobreestadia, pagamento pelo contratante de um determinado valor, definido em contrato, ao operador do navio por cada dia e fração de dia em que o navio ficou aguardando.

Para a atividade de atracação, é solicitado um conhecedor das condições de navegabilidade do porto, o práctico, que atua como um auxiliar do comandante. Nos principais portos, rebocadores são utilizados e orientados pelo práctico. No caso de atracação em alto mar, seja monobóias ou quadro de bóias, pode haver práctico ou não e, em geral, não tem apoio de rebocadores.

Ocorrida a atracação, o pessoal do terminal realiza a conexão da rede de dutos do navio com a rede de dutos do terminal (a conexão dos dutos ou linhas do pier com os dutos ou linhas do navio são feitas ou com os braços de carregamento ou com mangotes do terminal) alinhando os dutos do pier com os tanques de terra, enquanto que a tripulação a bordo define o plano de carregamento do navio que indica a seqüência de enchimento dos

tanques do mesmo. Esta sequência é importante porque não permite que os limites de tensão estrutural do navio sejam atingidos.

O carregamento é realizado utilizando-se as bombas do terminal e mantendo-se a vazão de acordo com a capacidade de recebimento do navio.

Findo o carregamento, segue-se a desconexão da rede do terminal com as do navio, atividade também realizada pelo pessoal do terminal.

O tempo padrão entre atracação e desatracação é de 24 hr.

Na desatracação, um prático está presente orientando os rebocadores e auxiliando o comandante na navegação até a saída do porto. O tempo entre a desatracação e a saída para viagem é de 6 hr.

3.2.2. Viagem para o porto de destino

A viagem de um porto a outro envolve atividades rotineiras na condução do navio, tais como definição e acompanhamento da “derrota”, operação dos motores principais e auxiliares, manutenções planejadas e corretiva e outras. O tempo de viagem depende da distância a ser percorrida, características do navio, condições climáticas, rota e outras.

3.2.3. Descarregamento no terminal

Esta atividade envolve as seguintes sub-atividades:

- Chegada do navio no porto
- Atracação no Pier
- Conexão das redes de dutos do navio á rede de dutos do terminal
- Transferência do produto para o terminal
- Desconexão das redes de dutos
- Desatracação

Este conjunto de atividades é semelhante as apresentadas para carregamento do navio exceto pela quarta atividade em que o produto é bombeado pelo navio e não pelo terminal.

3.2.4. Armazenamento e transferência do terminal para as refinarias

Os petróleos mais pesados são os que retêm maior quantidade de água miscigenada e, quando recebidos pelo terminal ficam, em geral, 24 hr em repouso no tanque. Durante este período o óleo é analisado, verificando-se as características do mesmo, principalmente quanto a presença de água, que, durante este período de repouso, tende a se depositar no fundo do tanque. Posteriormente, a água é bombeada para uma estação de tratamento onde é devidamente tratada e descartada.

Conforme a necessidade da refinaria, um determinado petróleo deve ser misturado a outros petróleos para se reduzir o teor de enxofre ou, no caso de apresentar alta densidade e viscosidade, misturar com petróleos mais leves para possibilitar o bombeio em dutos de longa distância.

No caso de petróleos leves, a presença de água está, em geral, abaixo do requisito mínimo necessário para seu processamento, e, portanto, não aguarda 24 horas para ser transferido para a refinaria, podendo ocorrer transferência em “pulmão”, ou seja, enquanto o navio ainda está bombeando o petróleo para um tanque do terminal, ocorre o bombeamento do petróleo deste tanque para a refinaria.

3.3. Causas de atraso na cadeia de suprimento de petróleo do Brasil

Cada etapa descrita no item 3.2. pode sofrer atrasos por diversas causas. Estas são apresentadas a seguir:

3.3.1. Atrasos no carregamento do navio

As inspeções das autoridades portuárias, sanitárias e de imigração podem retardar a operação do navio caso este não tenha a documentação em dia ou se irregularidades forem encontradas. Isto poderá reter a atracação do navio até que se justifiquem ou corrijam as deficiências.

Atrasos antes da atracação também podem ser causados por necessidades de manutenções de emergência do navio ou do terminal.

O deslocamento e a atracação no pier depende das condições do porto em relação a restrições operacionais ou climáticas. Em alguns portos não é permitido atracar à noite ou em condições de má visibilidade, em outros as condições de maré só permitem atracação em determinadas horas do dia ou apenas na maré alta que permite a entrada de navios com determinado calado. No caso de atracação em alto-mar, as condições climáticas tem muita importância, por exemplo, vento ou ondas podem impedir a atracação.

Outro fator importante que pode causar atraso desta atividade é o congestionamento dos portos causado por greves ou problemas operacionais.

A conexão das redes envolve mão-de-obra do terminal o que algumas vezes pode causar atrasos principalmente quando da mudança de turno.

A transferência do produto é realizada utilizando-se as bombas do terminal cabendo ao navio as manobras de distribuição dos tanques de bordo. É uma operação em que pode ocorrer atraso devido à má operação das bombas do terminal.

A desconexão do pier depende, da mesma forma que a conexão, da mão-de-obra do terminal o que pode causar algum atraso principalmente quando da mudança de turnos.

3.3.2. Atrasos na viagem para o porto de destino

A maior ocorrência de atrasos nesta etapa é devida às condições de tempo que em alguns casos obriga a redução de velocidade e, dependendo do porte do navio e da força da tempestade à mudanças de rumo para não comprometer a segurança do navio.

Outra causa de atraso é a necessidade de manutenção de emergência que algumas vezes pode exigir a parada do navio em alto mar ou obrigar a uma redução de velocidade.

3.3.3. Causas de atraso no descarregamento no porto de descarga

As causas de atraso são semelhantes as do item 3.3.1. carregamento do navio, exceto pelo fato que os atrasos podem ocorrer devido as falhas nas bombas do navio ou nos seus equipamentos auxiliares, ou no caso do terminal não ter espaço para receber o produto.

3.3.4. Causa de atraso no armazenamento e transferência para as refinarias

As operações de recebimento, repouso, mistura de petróleos, que representam bombeios internos e o bombeio para a refinaria devem estar bem coordenadas, pois podem ser conflitantes. Conseqüentemente, um atraso causado na refinaria por uma redução na produção, pode implicar em falta de espaço na refinaria para receber o petróleo e obrigar a uma redução no bombeio do terminal para a refinaria, complicando a operação interna do terminal que poderá, como conseqüência, atrasar a descarga de um navio.

Outro aspecto que pode causar atrasos na transferência de petróleo para a refinaria é a manutenção das bombas e dos dutos. Havendo redução do número de bombas para transferência há a redução da vazão e conseqüente atraso da atividade.

As causas de atraso apresentadas neste item podem ser resumidas como a seguir:

Carregamento do navio:

- Atracação somente de dia (visibilidade)
- Condições de maré
- Condições de vento e de ondas
- Mão-de-obra do terminal
- Ocupação do terminal (fila de navios)
- Problemas nas bombas do terminal
- Operações paralelas (internas) do terminal
- Abastecimento do navio
- Reparo do navio

Viagem do navio para o porto de destino

- Condições de tempo e de mar
- Manutenção nos equipamentos principais do navio

Descarregamento no terminal:

- Atracação somente de dia (visibilidade)
- Condições de maré
- Condições de vento e de ondas
- Mão-de-obra do terminal
- Ocupação do terminal (fila de navios)
- Problemas nas bombas do navio
- Operações paralelas (internas) do terminal não havendo espaço para o recebimento do produto
- Reparo do navio

Armazenamento e transferência para refinaria:

- Tempo de repouso no tanque
- Aguardando petróleos mais leves
- Operações paralelas (internas) do terminal
- Falta de espaço na refinaria
- Manutenção das bombas do terminal
- Manutenção dos dutos

3.4. Os tempos operacionais (t_0) de cada atividade

Conforme já foi falado, cada uma das atividades desenvolvidas no processo tem associado um tempo de operação, variável aleatória que apresenta alta variabilidade. Analisando os tempos operacionais de várias frentes de importação de petróleo para o Brasil, pode-se observar que há uma variação significativa dos tempos das diversas atividades que compõem a cadeia logística de suprimento. Como exemplos apresentam-se na tabela da figura 3.3 alguns tempos máximos e mínimos em alguns portos de carregamento, de algumas viagens entre portos e de uma descarga em um porto:

ATIVIDADE	T_P	MÍNIMO (hr)	MÁXIMO (hr)
Carregamento em Arzew	36	45	165
Carregamento em Bonny	36	40	210
Carregamento em Bejaia	36	30	190
Carregamento em Amuay Bay	36	27	126
Carregamento em Ras Tanura	36	38	150
Viagem Arzew – S.Sebastião	327	298	441
Viagem Bonny – S.Sebastião	252	220	360
Descarga em S.Sebastião	36	25	167

Figura 3.3: tabela com tempos operacionais máximos e mínimos

Esta variabilidade mostra a grande aleatoriedade do tempo operacional que depende de outras variáveis como produto, tamanho dos navios, operacionalidade portuária, disponibilidade de equipamentos, distância das viagens, condições meteorológicas, etc.

3.5. Conclusão

A cadeia logística de abastecimento de petróleo é um sistema complexo que apresenta tempo operacional com grande variabilidade devido a diversas causas que, em geral, dependem das origens e dos destinos da cadeia. Essa variabilidade implica em riscos ao atendimento do nível de serviço determinado pela empresa.

No próximo capítulo será caracterizado o risco inerente a operação de suprimento.

CAPÍTULO IV – A CONFIABILIDADE DA CADEIA LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO

4.1. Introdução

Sistemas com melhor performance tendem a captar maiores demandas o que pode incrementar a probabilidade de ocorrência de falhas que por sua vez aumentam custos e inconveniências e tornam o processo inseguro. Portanto, é essencial estudar essas falhas.

Neste capítulo, parte deste conhecimento, relacionado à caracterização do risco será apresentado.

4.2. Risco

O risco, ou seja, a probabilidade de ocorrer falhas durante um determinado período de tempo e sob certas condições, está associado com uma operação bem ou mal sucedida, e com o número de quebras ou falhas da mesma [8].

Um sistema falha quando ele para de realizar a sua função.

O risco ou probabilidade de falha, pode apresentar diversas naturezas. Segundo esta, ele pode ser classificado como:

- **Risco mercadológico:** associado aos preços dos bens e serviços, como por exemplo, o risco cambial que implica o preço da moeda.
- **Risco de crédito:** relacionado ao não pagamento de uma dívida, como por exemplo, no caso de moratórias.
- **Risco legal:** relacionado com as mudanças de legislação. Exemplos deste tipo de risco são: as novas leis com relação ao ambiente obrigam as empresas a investirem

em sistemas de tratamento de dejetos e a mudança de legislação com relação a impostos ou com regras de importação ou exportação.

- **Risco operacional:** envolve a possibilidade de falha na concepção do projeto ou, durante a manufatura ou construção de um produto ou por desgaste de componentes pelo uso do equipamento ou de falha operacional (causada por uma manobra errada que desequilibre todo um sistema podendo causar um colapso no processo). Este tipo de risco inclui também a manutenção que pode ser fonte de uma falha humana (a montagem de um equipamento de forma inadequada) ou de uma falha de material (substituição de um componente com material inadequado). Este é o tipo de risco a ser tratado na presente dissertação.

Este risco operacional está diretamente associado a **confiabilidade** do processo, definida como a probabilidade de que um sistema ou produto atenda de forma satisfatória aos objetivos ou propósitos a que foram construídos **por um período de tempo** quando usado sob condições específicas de operação. Observa-se na própria definição, a dependência do risco operacional ou confiabilidade do processo ao fator tempo.

A atividade logística tem um tempo de operação esperado ou padrão (t_p) quando opera nas condições de projeto. A variação destas condições pode causar alteração neste tempo gerando atrasos ou antecipações. Assim, o tempo de operação pode ser expresso por $t_0 = t_p + \epsilon$, com ϵ associado a uma variabilidade da atividade.

Definindo por t_L , o tempo limite para que uma atividade seja concluída, isto é, tempo máximo considerado aceitável para a realização da operação, pode se dizer que não há conformidade com o tempo se $t_0 > t_L$.

E a **confiabilidade** é definida por $R(t_L)$ como a probabilidade que a atividade opere em um período de tempo menor que t_L , isto é, dado o carácter aleatório do tempo de operação, t_0 , $R(t_L) = P(t_0 \leq t_L)$, função de distribuição acumulada até t_L de t_0 .

4.3. Cômputo de Risco ou Confiabilidade

Um princípio fundamental da engenharia da confiabilidade é que quando a complexidade de um sistema cresce, a confiabilidade cai, a menos que medidas compensatórias sejam tomadas. Uma vez que a medida de complexidade freqüentemente usada é o número de componentes em um sistema, a confiabilidade do mesmo pode ser expressa em função da confiabilidade dos componentes. Quando estes componentes são mutuamente independentes, a confiabilidade R de um sistema com N componentes não redundantes é

$$R = \prod_{n=1}^N R_n \quad (4.1)$$

aonde R_n é a confiabilidade do n-ésimo componente.

A representação gráfica de um sistema com atividades independentes ou componentes não redundantes é dada na figura 4.1. A falha de qualquer componente causa a falha do sistema.



Figura 4.1: Componentes em série

Fonte: Introduction to Reliability Engineering, E. E. Lewis [8]

Uma alternativa para evitar a redução da confiabilidade de sistemas complexos é prover os mesmos com redundância, isto é, com componentes alternativos em parte ou em todo o sistema.

A configuração redundante mais simples é o sistema paralelo. Neste caso, todos os blocos alternativos devem falhar para que o sistema falhe. Na figura 4.2 é representada esta situação:

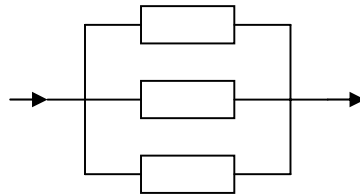


Figura 4.2: Componentes em série

Fonte: Introduction to Reliability Engineering, E. E. Lewis [8]

Uma dada atividade pode ter um único componente alternativo (em cujo caso se fala de redundância simples) ou vários componentes alternativos (ou redundância múltipla).

No primeiro caso, uma atividade representada por dois componentes redundantes, 1 e 2, onde X_1 e X_2 indicam o funcionamento desses componentes respectivamente, a confiabilidade da atividade é dada por:

$$P(X) = P(X_1 \cup X_2) \quad (4.2)$$

Ou seja:

$$R = P(X_1) + P(X_2) - P(X_1 \cap X_2). \quad (4.3)$$

Definindo as confiabilidades dos componentes por R_1 e R_2 respectivamente e assumindo que as falhas são independentes, tem-se

$$R = R_1 + R_2 - R_1 R_2 . \quad (4.4)$$

A confiabilidade de um sistema pode ser aumentada acrescentando-se um maior número de componentes em paralelo, isto é, com redundância múltipla.

Neste caso ter N componentes em paralelo para uma dada atividade, basta que apenas um dos componentes funcione para que o sistema funcione. Ou então, o sistema falha se todos os componentes X_i , $i = 1, \dots, N$, falham.

Tem-se, então, que a confiabilidade da atividade é:

$$R = 1 - P(\bar{X}_1 \cap \bar{X}_2 \cap \dots \bar{X}_N) \quad (4.5)$$

Onde \bar{X}_i é a falha do componente i , $i = 1, \dots, N$

Como

$$P(\bar{X}_i) = 1 - R_i \text{ para } \forall i = 1, \dots, N. \quad (4.6)$$

tem-se

$$R = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - R_i) . \quad (4.7)$$

Sistemas complexos que possuem configurações redundantes ou em série apresentam maiores dificuldades na representação da confiabilidade em termos de seus componentes. Esta tarefa pode ser simplificada com a análise dos diagramas de fluxo. Os diagramas de fluxo funcional são empregados como um mecanismo para retratar requisitos de projeto de uma forma pictórica, ilustrando relações série-paralelo, a hierarquia de funções do sistema e as interfaces funcionais [9].

Cada componente do sistema integrado tem associado um tempo operacional t_0 . O tempo operacional total do sistema dependerá dos tempos operacionais das atividades. Se existir um tempo limite t_L para o sistema deverá haver tempos limites para cada uma das atividades que o compõem, e portanto, a confiabilidade do sistema dependerá das probabilidades das atividades individuais serem desenvolvidas dentro de suas limitações.

Para se obter o tempo total da cadeia e sua distribuição de probabilidade é necessário combinar as diversas distribuições das atividades que compõem a mesma. A abordagem do problema utilizando componentes em série e em paralelo tem como base a independência entre os componentes o que nem sempre acontece com as atividades da cadeia logística. Também, os componentes são do tipo “operando / não operando” o que no caso de variabilidades contínuas como o tempo é de difícil tratamento analítico.

Portanto, a complexidade das cadeias logísticas e a aleatoriedade dos tempos operacionais em cada fase indicam a utilização da técnica de simulação como ferramenta de auxílio no cálculo do risco total da cadeia.

4.4. Simulação

As decisões gerenciais tem sido uma área importante para o desenvolvimento de modelos que permitam reproduzir e compreender as condições onde estas são realizadas, permitindo-se avaliar qualitativa e quantitativamente suas conseqüências.

Os modelos são representações de sistemas reais, onde determinados aspectos relevantes são destacados visando análises específicas, segundo os objetivos de estudo.

Os modelos tem sido conhecidos na literatura técnica como Sistemas de Apoio à Decisão – SAD. Sua aplicação abrange um número cada vez maior de áreas, dentre as quais destacam-se o planejamento e controle da produção, sistemas de informações gerenciais, marketing, sistemas de controle de estoque e dimensionamento de frotas.

Como exemplo do uso da simulação na solução de problemas complexos pode-se citar Botter no desenvolvimento de um modelo para dimensionamento do sistema de escoamento de GLP de Urucu [13] e modelo para dimensionamento da frota de embarcações R.A.S. [14], ambos os trabalhos solicitados pela Petrobras, e as teses de mestrado de Dexheimer [16], Sistema para gerenciamento operacional em terminais intermodais de carga e Borges [15] com um Modelo de dimensionamento de frota para escoamento da produção de petróleo da Bacia de Campos.

PIDD (1996) [10], analisando diversas formas de modelagem do processo de decisão, recomenda que a simulação seja aplicada nos seguintes casos:

- em sistemas dinâmicos: quando existe uma variação temporal sujeita a fatores que não podem ser controlados, mas podem ser determinados estatisticamente;
- em sistemas interativos: onde diversos componentes do sistema interagem entre si e essa interação afeta o sistema como um todo e
- em sistemas complexos: que apresentam muitas variáveis que influenciam a dinâmica interna e externa do sistema.

PEDGEN et al. (1995) [11], definem a simulação como o processo de elaborar um modelo de um sistema real e de conduzir experimentos, com o propósito de compreender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para a operação do mesmo.

A simulação tem como objetivo auxiliar no conhecimento do comportamento de sistemas, formulando teorias e testando hipóteses a seu respeito. O uso de modelos de simulação permite prever comportamentos futuros, antecipando a visualização dos efeitos provenientes de mudanças na forma de operar o sistema.

Para KELTON et al. (1998) [12], a simulação tem ocupado um grande espaço como ferramenta de apoio gerencial, dada a possibilidade de se trabalhar com modelos bastante complexos, que correspondem à grande maioria dos sistemas reais da atualidade.

Os primeiros programas de simulação utilizavam linguagens generalistas, como o FORTRAN. Os programas eram extremamente grandes consumindo muito tempo na elaboração de rotinas e na depuração dos erros de execução, mesmo no caso de sistemas simples. Todavia, havia flexibilidade de programação, simulando-se uma grande diversidade de sistemas.

Posteriormente, surgiram linguagens específicas de simulação, tais como GPSS, SIMSCRIPT, SLAM e SIMAN. Estas linguagens proporcionam uma melhor plataforma de programação para a simulação, discriminando os problemas em dois segmentos : modelo e experimento. No primeiro segmento, são descritos os elementos físicos do sistema (recursos humanos, máquinas, materiais, veículos, informações e outras) e suas inter-relações. No outro segmento , são definidas as condições específicas onde o modelo é executado, tais como duração das corridas, condições iniciais, rotas a serem seguidas, coleta de estatística, e outras.

Com o desenvolvimento da informática e de novos ambientes operacionais foram surgindo linguagens de simulação de alto nível tais como ARENA e PROMODEL. Estas ferramentas operam em ambientes gráficos, onde os módulos de programas são selecionados e conectados, formando seqüências lógicas a serem seguidas pelas entidades no problema. Estes pacotes também contêm recursos de animação gráfica dos diversos componentes analisados, movendo-os conforme as mudanças de estado do sistema.

Conforme W.D. Kelton et al [12], se a relação que compõe o modelo é simples, é possível utilizar métodos matemáticos, tais como álgebra, cálculo, teoria de probabilidade e outros, para se obter informações exatas. No entanto, no mundo real, os sistemas são muito complexos impedindo sua avaliação pelo método analítico. Estes modelos devem ser estudados por meio da simulação.

Um sistema é definido como uma coleção de entidades que agem ou interagem com o objetivo de alcançar um fim lógico. A coleção de entidades que compõe um sistema para um determinado estudo deve ser somente um subconjunto do sistema total maior.

Geralmente estuda-se um sistema para medir sua performance, melhorar sua operação ou projetá-lo se ainda na fase de planejamento. Também, gerentes e controladores podem ser ajudados nas operações do dia-a-dia, como no caso de definir alternativas quando uma parte do sistema entra em colapso.

Os modelos podem ser físicos ou lógicos: os primeiros são réplica ou modelo em escala do sistema real; os segundos são matemáticos formando um conjunto de aproximações estruturais e quantitativas do sistema, que procuram reproduzir a sua forma de operar.

Um modelo lógico é usualmente representado em um programa de computador. Se o modelo é uma representação válida do sistema, é barato, fácil e rápido de se obter respostas para uma série de questões a respeito do sistema real, bastando para isto manipular a forma e dados de entrada do programa. Assim, é possível testar várias condições sem comprometer o sistema real.

Um sistema é modelado pela identificação dos eventos característicos, e, posteriormente, um conjunto de rotinas é definido contendo uma descrição detalhada das mudanças de estados que ocorrem a cada evento. A simulação se desenvolve ao longo do tempo com a execução dos eventos em ordem crescente em tempo de ocorrência.

Alguns aspectos comuns nas simulações são:

- o objetivo de se estimar valores que são difíceis de se computar com exatidão;
- os resultados finais têm sempre um erro;
- quanto maior o número de experimentos, menor é o erro e, portanto, melhor a estimativa;

- podem-se fazer experimentos seqüenciais até que o erro provável seja pequeno suficiente para ser aceito ao invés de decidir o número de experimentos com antecedência.

Os pacotes de simulação mais recentes usam a abordagem de processo para modelagem da simulação. Um processo é uma seqüência cronológica de eventos separados por intervalos de tempo, que descreve a experiência inteira de uma entidade enquanto ela flui através de um sistema. Um sistema ou modelo de simulação pode conter diversos tipos diferentes de processos. Correspondente a cada processo, existe uma rotina que descreve a história inteira da entidade enquanto ela se move através do processo correspondente.

Algumas características desejadas para softwares de simulação são:

- Flexibilidade e facilidade de uso que permitam definir e mudar atributos de entidades e de variáveis globais e usa-las em decisões lógicas; utilizar funções e expressões matemáticas; criar novos modelos a partir de modelos existentes; combinar simulação contínua e discreta que sejam de execução rápida.
- Software e hardware, plataformas utilizadas, quantidade de memória RAM necessária, sistema operacionais suportados e outras, devem estar devidamente especificadas.
- que possuam um módulo de animação para representar na tela do computador as mudanças que ocorrem no sistema para facilitar sua compreensão e que permita sugerir procedimentos de melhorias operacionais.
- capacidade estatística para gerar números randômicos com propriedades estatísticas adequadas. Deve conter, porém, com diferentes distribuições de probabilidade: exponencial, gamma, Weibull, lognormal, normal, uniforme, triangular, beta, binomial, geométrica, binomial negativa, Poisson e uniforme discreta, como também permitir o uso da distribuição empírica ou outra definida pelo usuário.

- capacidade de se gerar gráficos e relatórios de saída tais como histogramas e gráficos estáticos e outros definidos pelo usuário.

Um projeto de simulação deve determinar quais aspectos de um complexo sistema do mundo real devem ser incorporados e em que nível de detalhe. Não é necessário ter uma correspondência um-para-um entre cada elemento do sistema e cada elemento do modelo já que isto é normalmente impraticável devido à tempo, custos ou restrições computacionais e nem sempre é efetivo.

Como guia geral, W.D. Kelton e D.M. Law citam às seguintes diretrizes para construir uma simulação:

- Definir cuidadosamente quais os problemas específicos a serem investigados e as medidas de performance que serão usadas para avaliação.
- A entidade utilizada na simulação nem sempre é a entidade do sistema real correspondente, entretanto, a representa.
- Utilizar a análise de sensibilidade para complementar o estudo.
- Iniciar o modelo com um nível moderado de detalhes, e posteriormente, se necessário, incluir um maior detalhamento.
- Não detalhar no modelo mais que o necessário para atingir os problemas de interesse, desde que o modelo não perca a credibilidade.
- O nível de detalhe do modelo deve ser consistente com o tipo de dados possíveis.
- Em estudos de simulação, tempos e custos são as principais restrições na determinação do detalhamento do modelo.

- Sistemas complexos devem ser simplificados, reduzindo-se o número de fatores de interesse que, quando em excesso, em alguns casos, pode inviabilizar a solução.

4.5. Conclusão

Devido à dificuldade de se caracterizar cada uma das atividades que compõem o complexo sistema de suprimento de petróleo em função de seus tempos operacionais e das respectivas probabilidades de falhas, se faz necessário trabalhar com diagramas de bloco para representa-las e a técnica da simulação para caracterizar o seu desempenho global. Estas são as ferramentas indicadas para tratar a confiabilidade da cadeia de abastecimento de petróleo no Brasil.

Será apresentado no próximo capítulo um procedimento para se obter e aplicar essas características relevantes na simulação.

CAPÍTULO V – PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA CADEIA LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO

5.1. Introdução

O procedimento a seguir visa a elaboração de um modelo de simulação que forneça estatísticas úteis para a avaliação do desempenho operacional da cadeia de suprimento de petróleo possibilitando assim, o apoio a decisões gerenciais.

Para tal, devem, em primeira instância, ser caracterizado o produto a ser transferido, os portos a serem utilizados em termos de recursos disponíveis e produtividades, as atividades que constituem a cadeia de suprimento e as características dos modais de transporte que atendem a esses portos.

5.2. O procedimento proposto

O procedimento descrito neste trabalho considera apenas um porto de carga, um porto de descarga e uma refinaria como cliente recebedor do produto e pode ser representado pelo fluxograma a seguir (figura 5.1) mostrando a seqüência das atividades da cadeia de suprimento de petróleo com base na descrição do capítulo anterior e de forma macro

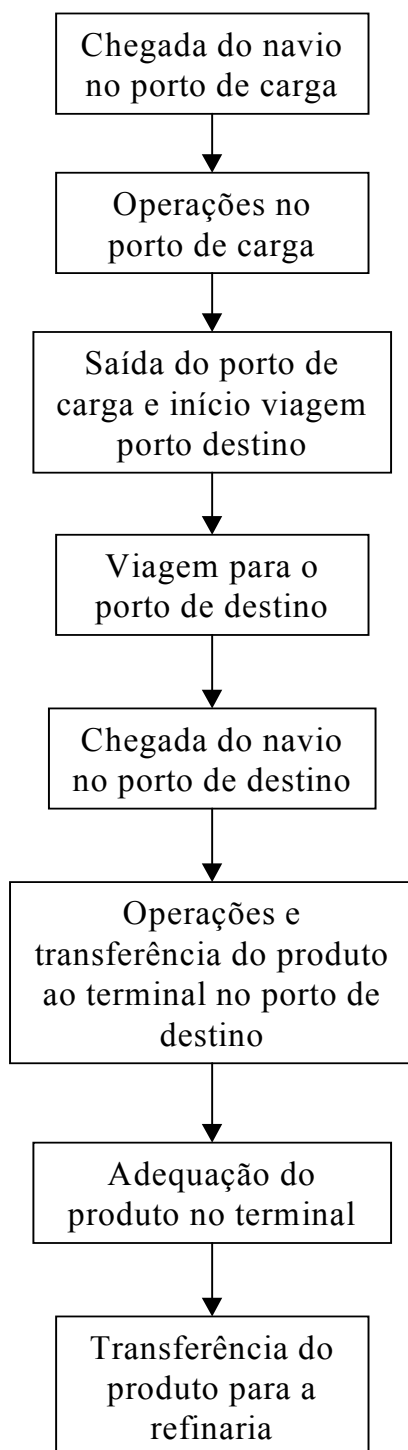


Figura 5.1: Fluxograma das atividades da Cadeia de Suprimento

De acordo com este fluxograma que apresenta o relacionamento entre as diversas atividades desenvolvidas na cadeia de suprimento de petróleo, se faz necessário conhecer as características operacionais dos portos de carregamento e de descarga, da rota entre os portos, dos navios que operam nesses portos e da transferência do terminal para a refinaria. Portanto, devem ser obtidos os seguintes dados:

- para o porto de carregamento: tipo de petróleo fornecido, lote normalmente vendido, capacidade máxima de carga dos navios para operação;
- para o porto de descarga: capacidade máxima de carga dos navios para operação, tancagens no terminal em número e capacidade dos tanques de armazenamento, vazão de descarga máxima permitida e sua média e distribuição;
- para a viagem: distancia em milhas náuticas entre os portos de carga e descarga em função da rota definida;
- para a refinaria: transferência do terminal para a refinaria em vazão média com sua distribuição de bombeio e volume do oleoduto do terminal até a refinaria.
- Para o produto: tempo de seu repouso no tanque caso seja necessário (no caso de petróleos leves o bombeio em “pulmão” é possível pois praticamente não tem água miscigenada) ;

Para se chegar a estas características operacionais alguns dados são necessários, dentre os que podem se mencionar:

- para a operação no porto de carga:
 - tempos de estadia no porto (média e sua distribuição);
 - tempos mínimo e máximo admissíveis de estadia no porto;
- para a viagem entre os portos:
 - distância entre os portos de carga e de descarga;
 - velocidades médias dos navios nessa rota ou em rotas semelhantes e sua distribuição.
 - velocidades mínima e máxima admissíveis dos navios nessa rota;
- para a chegada no porto de descarga e início da operação de descarga do navio:

- tempos médios e sua distribuição entre a chegada no porto de descarga e o início da operação de descarga do navio;
- tempos mínimo e máximo admissíveis entre a chegada e o início da operação de descarga;
- volume de carga transportada a ser descarregada;
- para tempo de repouso do produto nos tanques:
 - tipo de bombeio, em pulmão ou não;
- para início e fim de bombeio para a refinaria:
 - a) bombeio em pulmão:
 - capacidade volumétrica total dos tanques;
 - volume mínimo que permite o bombeio do tanque;
 - volume para início do bombeio;
 - lotes de bombeio (média e sua distribuição);
 - lotes mínimo e máximo admissíveis de bombeio;
 - vazões de bombeio (média e sua distribuição);
 - vazões mínima e máxima de bombeio;
 - volume do oleoduto para a refinaria;
 - b) bombeio com 24 horas de repouso no tanque:
 - quantidade de tanques e capacidade volumétrica de cada um;
 - lotes de bombeio (média e sua distribuição);
 - vazões de bombeio (média e sua distribuição);
 - vazões mínima e máxima admissíveis de bombeio;
 - volume do oleoduto para a refinaria.

A seguir é apresentado na fig. 5.2 um fluxograma detalhado do procedimento proposto

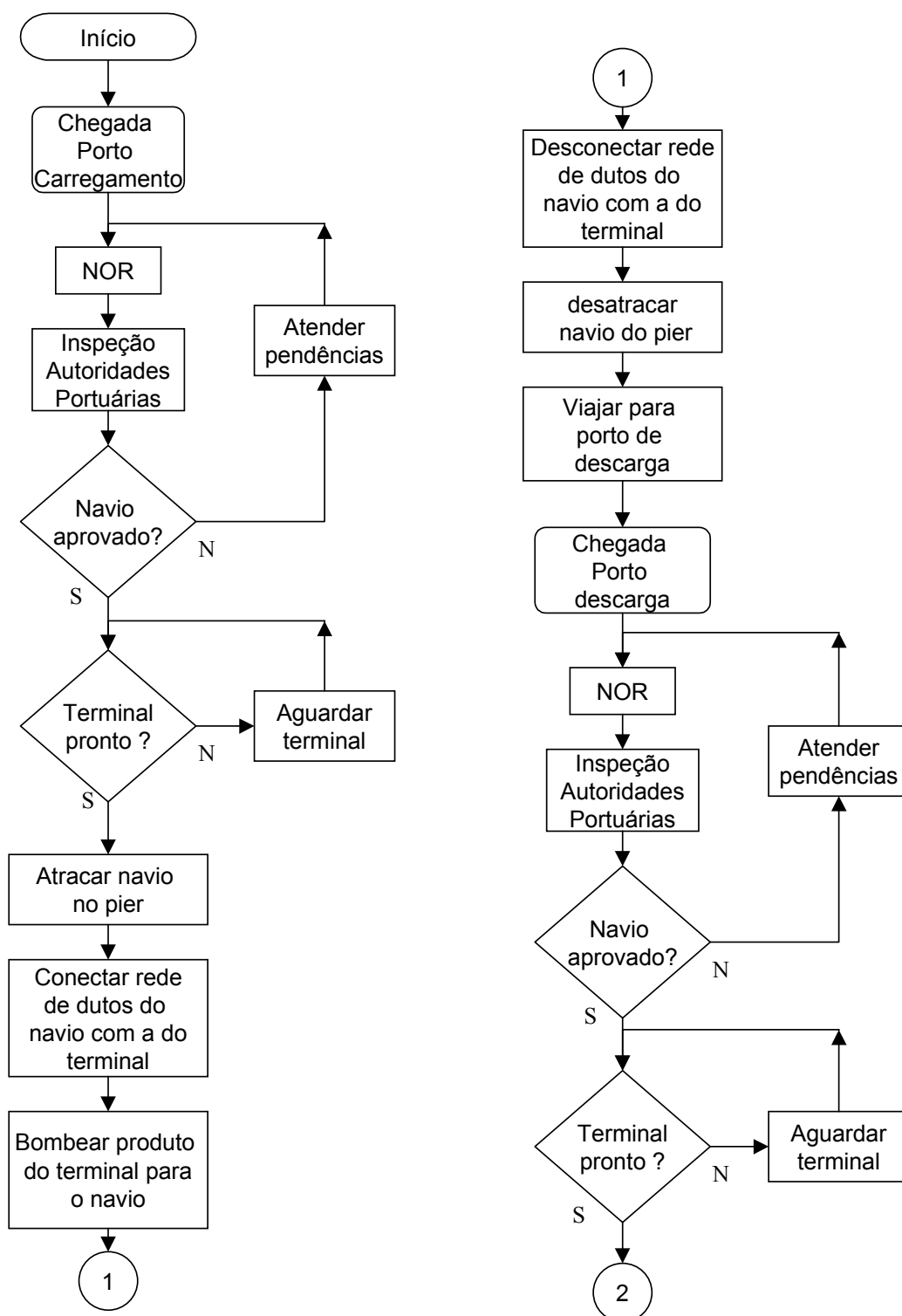


Figura 5.2: Fluxograma do procedimento proposto

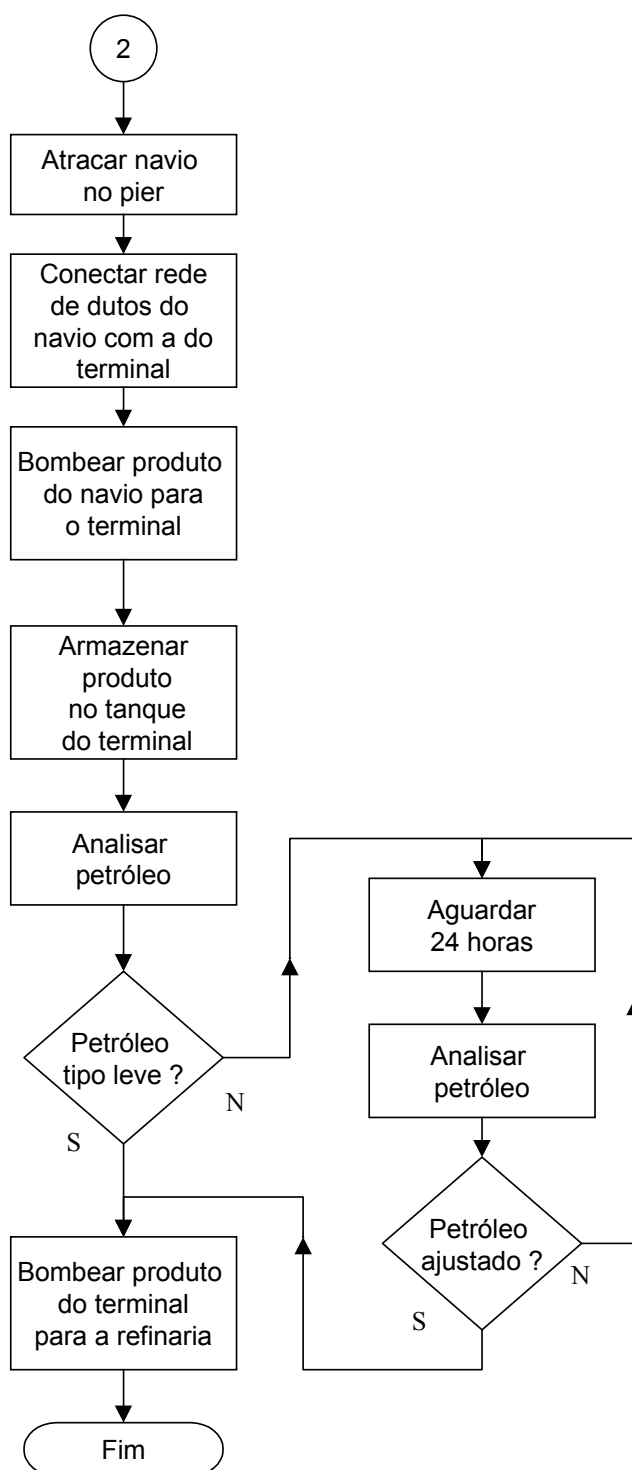


Figura 5.2: Fluxograma do procedimento proposto (Continuação)

A figura 5.2 mostra o fluxograma das atividades sendo distinguidos os principais pontos de decisão na cadeia de suprimento.

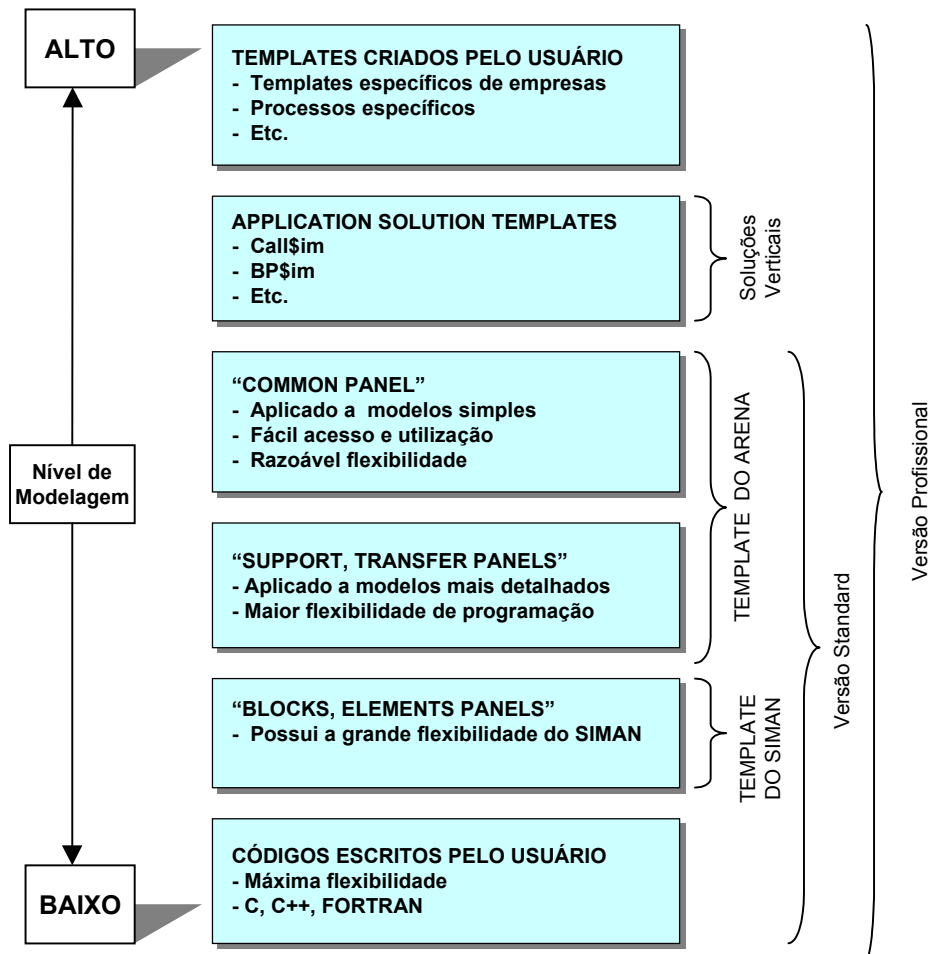
5.3. O modelo de simulação

O software escolhido para a realização da simulação foi o “ARENA que reúne as vantagens das linguagens de alto nível com a flexibilidade de linguagens de programação generalistas, tais como Microsoft Visual Basic, C, C++ e o FORTRAN.

O ARENA agrupa em “Panels” e “Templates” os diversos módulos de rotinas e recursos gráficos utilizados na modelagem. Os “Panels” agrupam módulos de um mesmo nível de programação, facilitando a apresentação e a organização da ferramenta. Por sua vez, os “Panels” são agrupados em “Templates”, caracterizados por diferentes tipos de capacidades e estruturas de programação. Assim, podem ser combinados diversos módulos de “Panels” e “Templates” diferentes num mesmo programa congregando-se, num mesmo ambiente de trabalho, flexibilidade de programação e facilidade de uso.

Kelton et al. (1998) [12] formularam a estrutura hierárquica desta linguagem, que é apresentada na figura 5.3 a seguir. Em qualquer momento da modelagem podem ser utilizados módulos de diversos níveis hierárquicos da ferramenta. O usuário pode ainda criar seus próprios módulos formando templates personalizados para várias classes de aplicações específicas.

O ARENA possui ainda diversos recursos de animação gráfica e de análise estatística no mesmo ambiente de trabalho, produzindo trabalhos de excelente apresentação e qualidade de resultados.



Fonte: KELTON (1998)

Figura 5.3: Estrutura Hierárquica do ARENA

5.3.1. Elementos da simulação

Os seguintes elementos são utilizados nos modelos de simulação para a descrição do comportamento dos sistemas:

- **Entidades:** são os agentes dinâmicos da simulação e movem-se pelo modelo afetando e sendo afetadas por outras entidades ou pelo próprio sistema. São dinâmicas pois são criadas e, após se alterarem ao passar por diversos eventos através do modelo, podem ser eliminadas caso não permaneçam em circulação;
- **Atributos:** são características individuais de cada entidade, com valores específicos para cada uma, sendo então possível diferenciá-las;
- **Variáveis:** são valores globais do sistema, visíveis a qualquer momento e em qualquer ponto do modelo;
- **Recursos:** são elementos capazes de restringir a movimentação das entidades ao longo do modelo. Os recursos são alocados as entidades e, pode haver casos em que um ou mais recursos diferentes tem que ser alocados para que a entidade seja liberada.;
- **Filas:** são os locais de espera do modelo onde as entidades aguardam os recursos ocupados;
- **Eventos:** são acontecimentos dentro do sistema que mudam variáveis ou atributos como por exemplo, o início e o fim de uma atividade;

5.3.2. Descrição do modelo

O estudo está voltado para a modelagem dos tempos operacionais que ocorrem em cada etapa considerando as operações em paralelo e em série. Com esses tempos parciais consegue-se computar o tempo total esperado.

Conforme apresentado no capítulo anterior, o processo de simulação está constituído de entidades, filas, recursos e variáveis. Estes elementos para o caso apresentado são descritos a seguir:

5.3.2.1. Classes de entidades

Na aplicação é considerada apenas uma classe de entidade que se duplica para atender atividades em paralelo. Esta entidade representa o carregamento de um navio ao longo das diversas atividades da cadeia logística.

5.3.2.2. Filas

Este modelo considera a cadeia logística como um único processo com apenas uma entidade por vez passando por ele e medindo-se o tempo total de processamento, ou seja, o tempo entre o início e o final do processo. As possíveis filas das atividades que compõem a cadeia estão consideradas nas curvas de distribuição de probabilidade dos tempos operacionais que inclui todas as causas de atraso na operação.

5.3.2.3. Recursos

Da mesma forma que as filas, não houve necessidade de utilização de recursos no modelo uma vez que os mesmos são utilizados principalmente para determinação de filas.

5.3.2.4. Variáveis

O modelo se compõe de parâmetros com seus respectivos valores iniciais e de variáveis com suas caracterizações definidas a seguir:

- **nr_navio:** identifica o número de entidades criadas ;
- **n_int:** identifica o número máximo de entidades a serem criadas;
- **libera:** libera mais uma entidade para o modelo após o final da transferência para a refinaria;
- **libera_1:** libera mais uma entidade para o modelo após o final da descarga do navio;
- **t_carga_max:** tempo máximo de carregamento do navio;
- **dist_portos:** distância entre os portos de carga e de descarga;

- **t_cheg_oper_máx**: tempo máximo entre chegada e início operação no porto de descarga;
- **vel_nav_max**: velocidade máxima do navio;
- **carga_navio_ini**: carga recebida no navio no porto de carga;
- **carga_navio**: carga existente no navio em dado momento;
- **capac_tq_dest**: capacidade de tancagem no porto de destino;
- **vaz_desc_nav_max**: vazão máxima de descarga no navio;
- **lib_bombeio**: libera início bombeio em “pulmão” do terminal para a refinaria;
- **v_ini_bomb**: volume no tanque do porto de destino que permite iniciar o bombeio em pulmão;
- **v_transf_max**: vazão máxima de transferência para a refinaria;
- **tq_min**: volume mínimo no tanque do terminal que permite bombeio para a refinaria;
- **vol_ref_tot**: volume de produto para a refinaria;
- **vol_duto_ref**: volume do oleoduto do terminal para a refinaria;
- **t0**: hora chegada no porto de carga;
- **t_carga**: tempo total entre chegada e saída do porto de carga;
- **t1**: hora saída do porto de carga e início viagem para o porto de descarga;
- **vel_navio**: velocidade do navio (representado pela distribuição de Weibull);
- **t2**: hora chegada no porto de descarga;
- **t_vgm**: tempo de viagem do porto de carga ao porto de descarga;
- **t_cheg_oper**: tempo entre chegada no porto de descarga e início de operação;
- **t3**: início operação de descarga do navio;
- **tq_dest**: volume de produto existente na tancagem do porto de destino;
- **vaz_desc_nav**: vazão de descarga do navio para o terminal;
- **vol_transf_tot**: volume total transferido do terminal para a refinaria;
- **t4**: fim de operação de descarga do navio;
- **vol_transf**: lote de transferência do terminal para a refinaria em dado momento;
- **vaz_transf**: vazão de transferência para um determinado **vol_transf**;
- **vol_transf_tot**: volume total transferido do terminal para a refinaria em um dado momento;
- **vol_duto**: volume do produto no oleoduto em um dado momento;

- **t_bombeio**: tempo de bombeio para um determinado **vol_transf** e uma determinada **vaz_transf**;
- **t_bombeio_a**: tempo de bombeio para um determinado **vol_transf** e uma determinada **vaz_transf** para o produto existente no oleoduto;
- **t5**: início bombeio de transferência do terminal para a refinaria;
- **t6**: término bombeio do terminal para a refinaria;
- **t_total**: tempo entre a chegada do navio no porto de carga e o término de bombeio do terminal para a refinaria;

A seguir é apresentado na figura 5.4. o fluxograma do procedimento em ARENA:

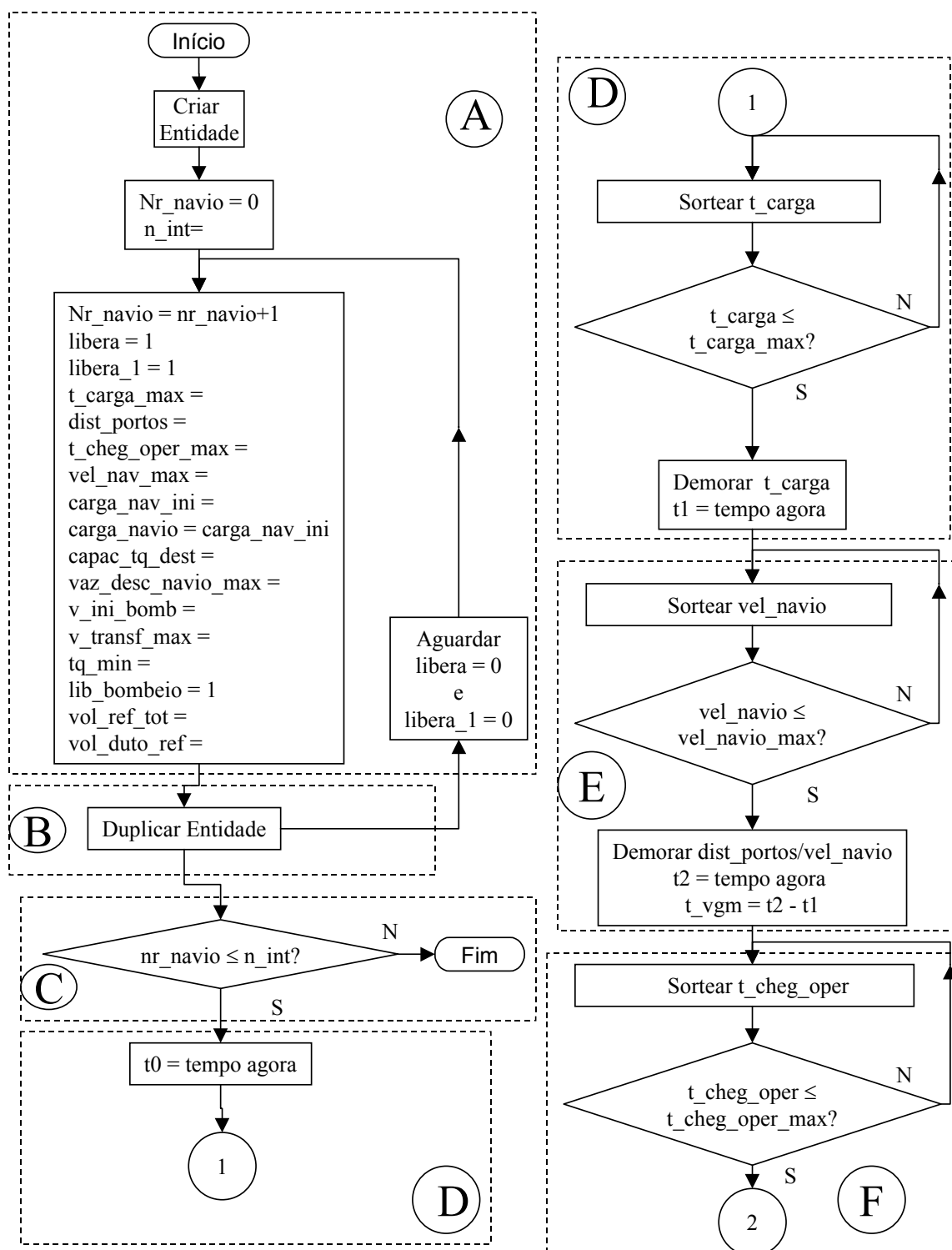


Figura 5.4: Fluxograma do procedimento em ARENA

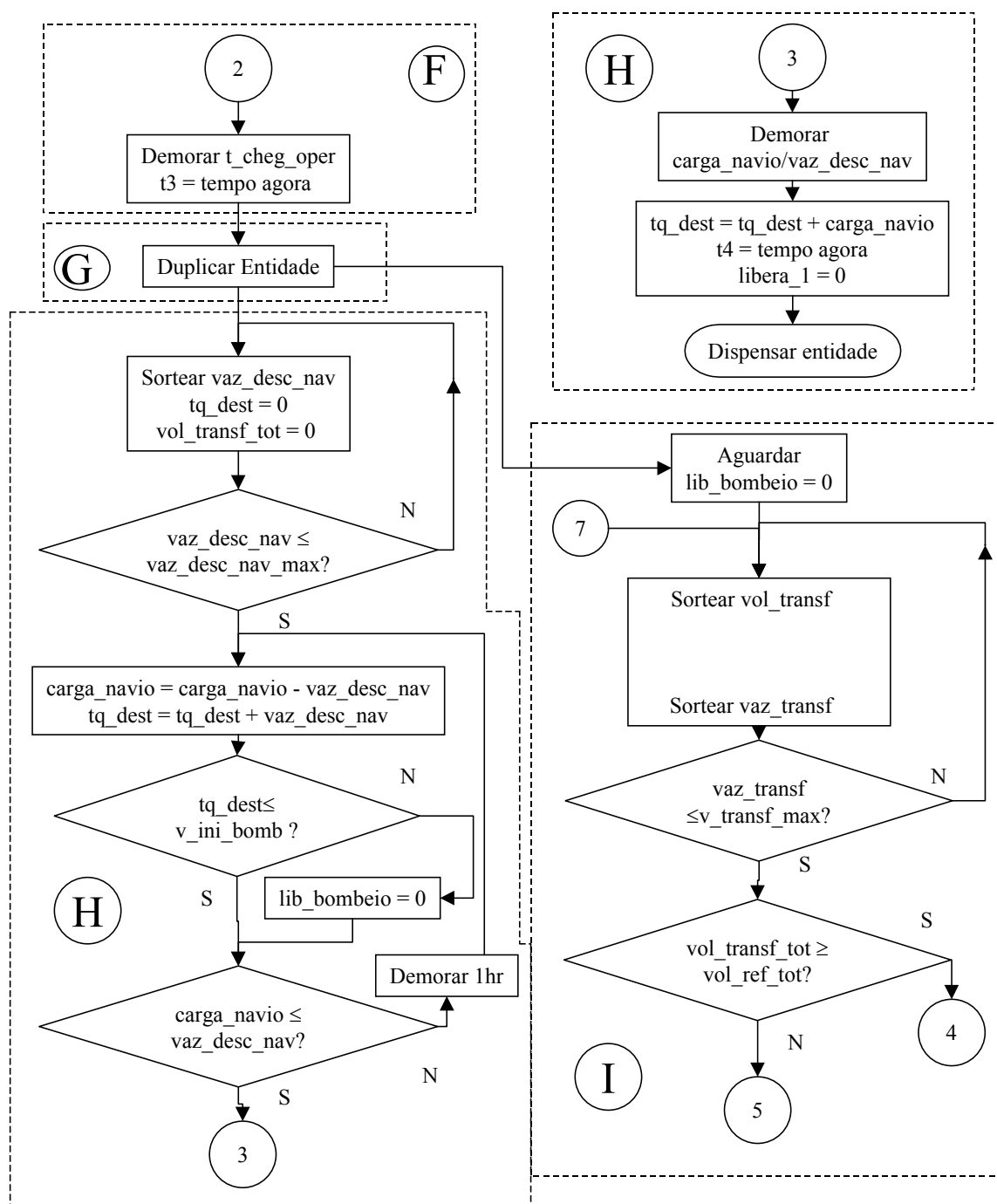


Figura 5.4: Fluxograma do procedimento em ARENA (cont)

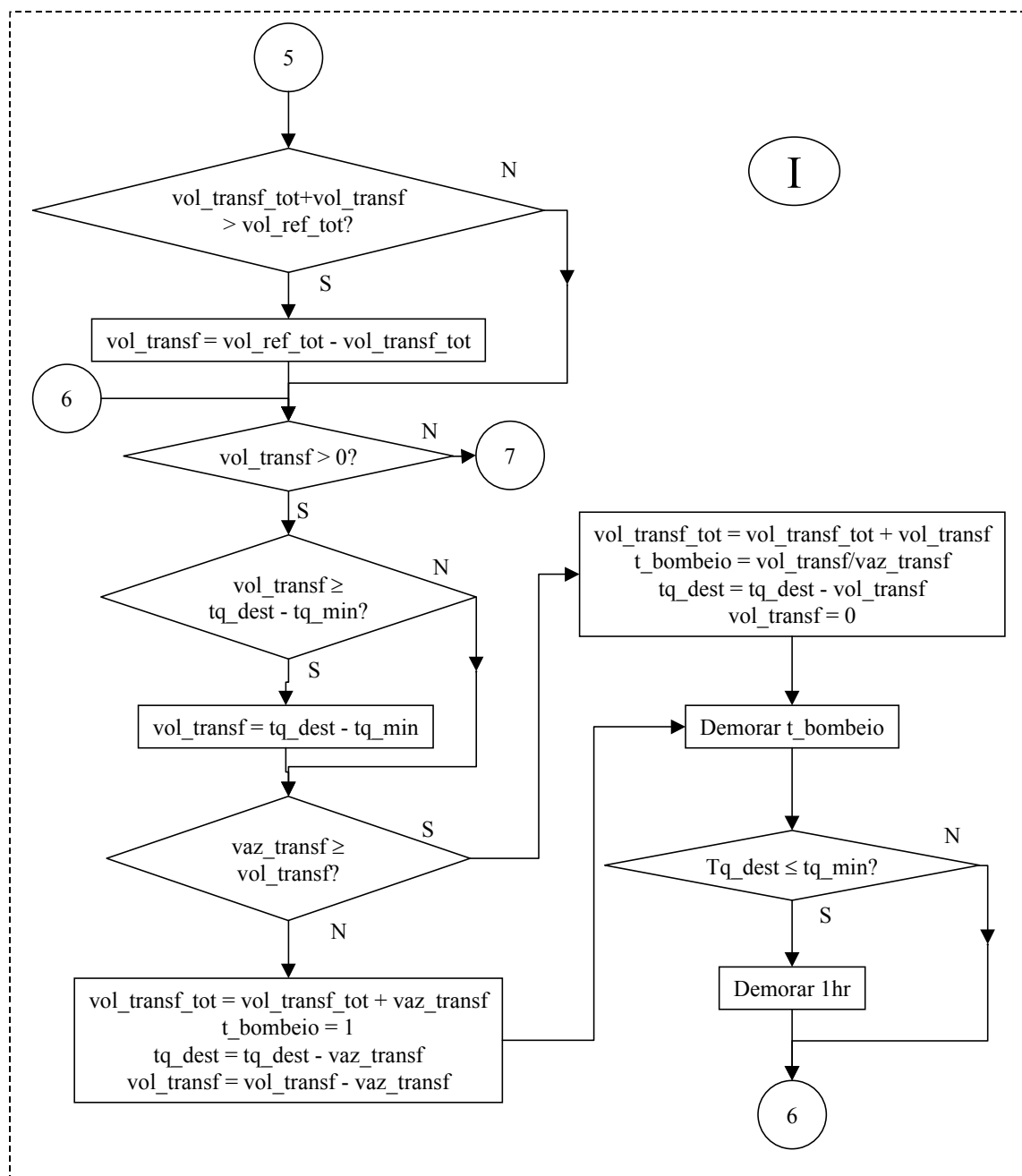


Figura 5.4: Fluxograma do procedimento em ARENA (cont)

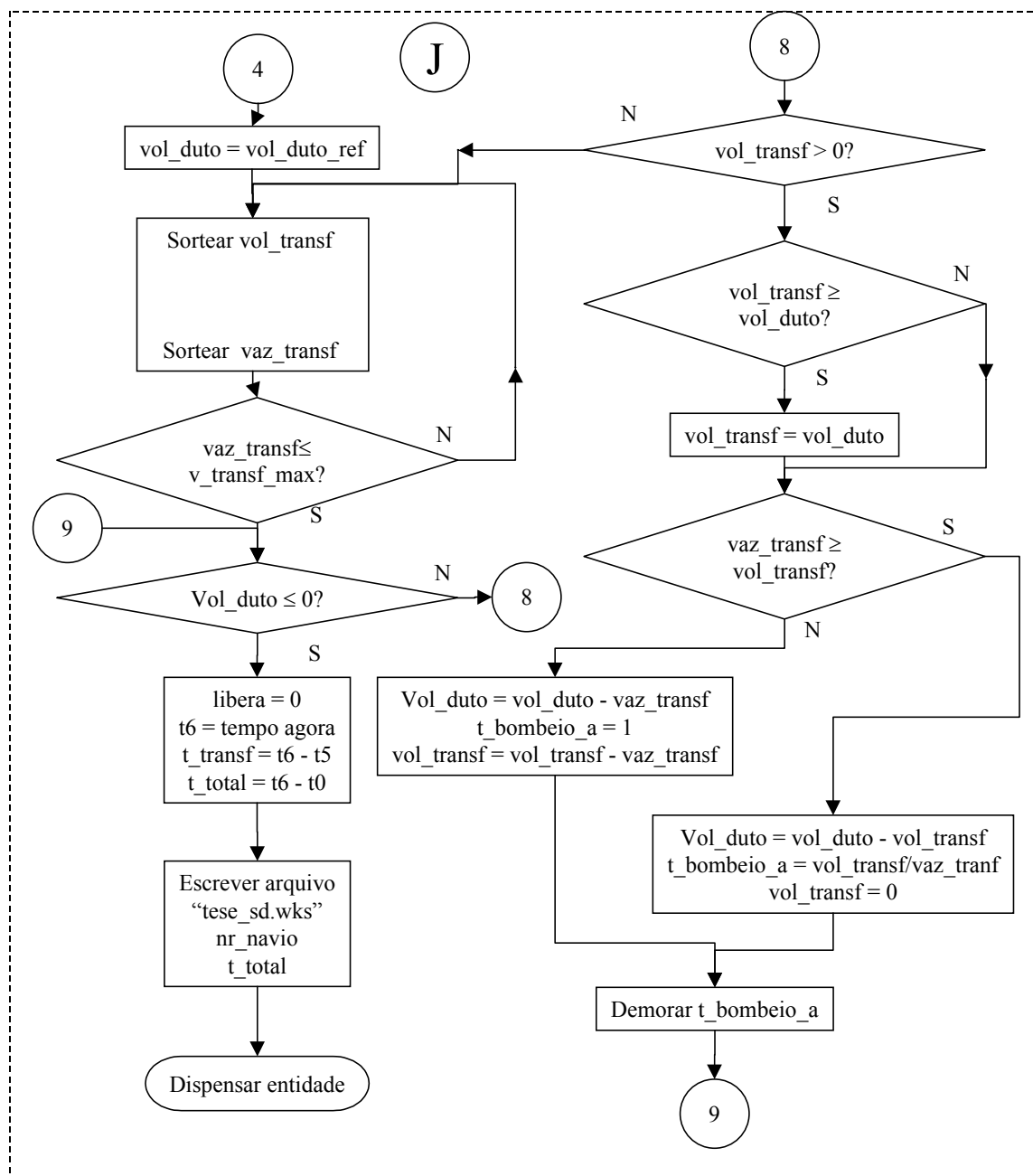


Figura 5.4: Fluxograma do procedimento em ARENA (cont)

Este fluxograma mostra todas as variáveis no programa em ARENA e todos os processos considerados no modelo.

No painel A está a inicialização do programa onde se cria uma entidade e define-se valores para os parâmetros e variáveis do programa.

No painel B duplica-se a entidade para uma nova interação após a liberação da anterior.

No painel C verifica-se o número de entidades já criadas e termina o programa quando este número é superior a um número prefixado.

No painel D define-se o tempo de operação no porto de carga considerando-se o período entre a chegada e a saída do porto determinado por uma curva de distribuição de probabilidade e limitado a um tempo de operação máximo.

No painel E define-se o tempo de viagem entre os portos de carga e de descarga em função da velocidade média do navio determinada por uma curva de distribuição de probabilidade limitada a um valor máximo e da distância entre os portos.

No painel F define-se o tempo entre a chegada do navio no porto de descarga e o início da operação de descarga determinado por uma curva de distribuição de probabilidade.

No painel G a entidade é duplicada para atender a duas atividades em paralelo: a descarga do navio para o terminal e o bombeio do terminal para a refinaria.

No painel H define-se a vazão de descarga do navio por uma curva de distribuição de probabilidade limitada por uma vazão máxima. A liberação do bombeio do terminal para a refinaria é realizado quando o tanque do terminal atinge um determinado volume. A descarga do navio é realizada em etapas de 1 hr até que a carga existente no navio seja menor que a vazão de descarga, quando então, o tempo de descarga é calculado para essa quantidade final.

No painel I define-se a transferência do terminal para a refinaria considerando uma curva de distribuição de probabilidade para determinação do tamanho do lote e uma curva de distribuição de probabilidade para determinação da vazão a ser considerada para este lote, sendo que a vazão está limitada a um determinado valor máximo. Quando um lote termina outro lote com outra vazão é definido. Esta etapa termina quando a quantidade transferida é igual a quantidade definida a ser recebida pela refinaria. A cada lote é verificado se o volume remanescente no tanque do terminal é menor que um determinado valor o que indica um nível muito baixo para permitir o bombeio. O bombeio é realizado em períodos de 1 hr exceto quando o lote sendo transferido está com um valor menor que a vazão de transferência sendo então calculado o tempo de bombeio.

No painel J define-se a bombeio do produto remanescente no oleoduto. O processo é semelhante ao anterior onde se determina um lote e uma vazão por curvas de distribuição de probabilidade. O processo termina quando o volume do oleoduto é totalmente bombeado. Com o término da descarga do navio e como termino do bombeio do oleoduto, nova entidade é liberada para reiniciar o processo e o tempo total, para cada entidade criada, é gravado em um arquivo.

O programa em ARENA é apresentado na figura 5.5 a seguir.

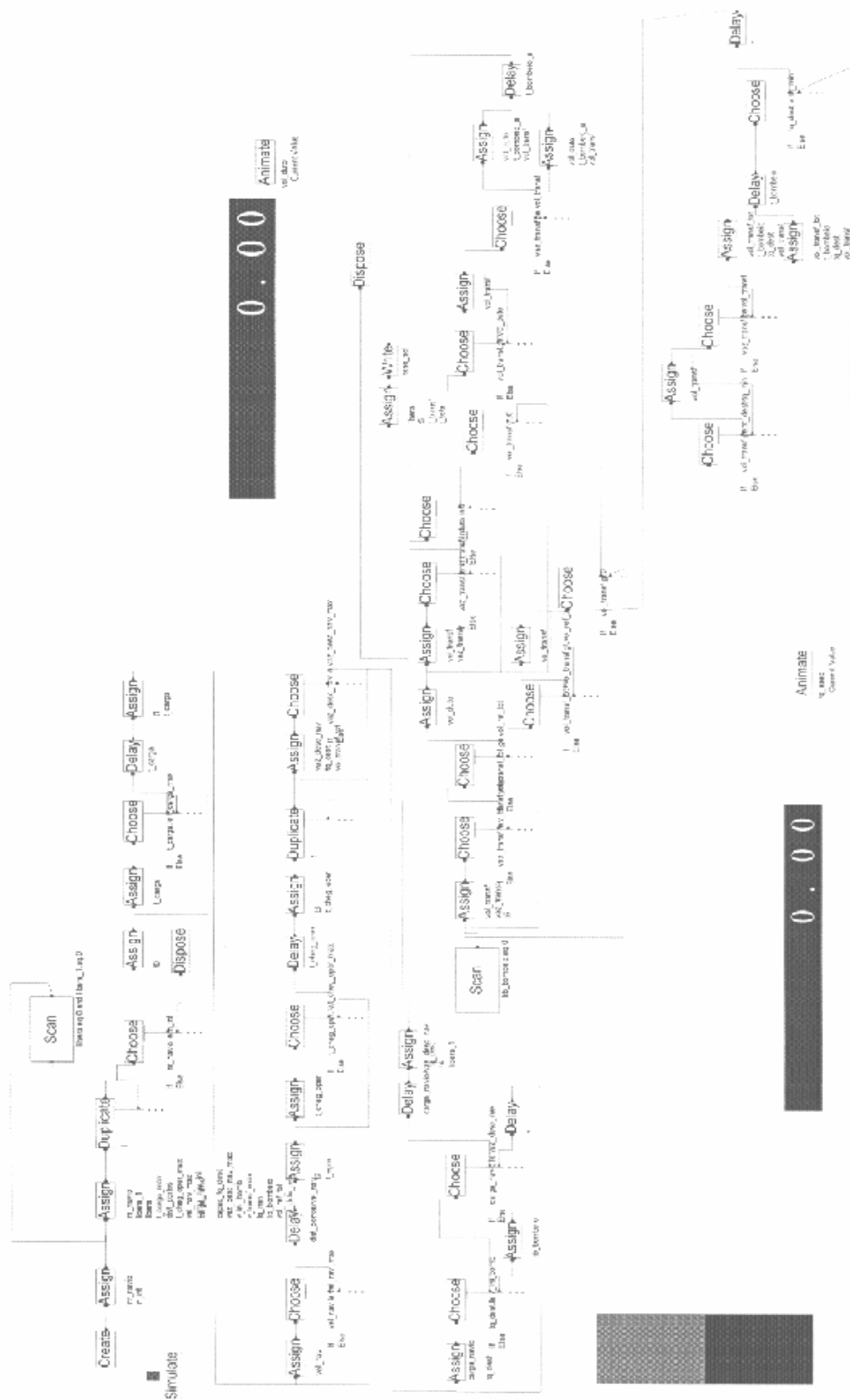


Figura 5.5 - PROGRAMA EM ARENA

5.4. Conclusão

O procedimento proposto considera a utilização do software ARENA para a confecção de um modelo de simulação que calcule a variabilidade do tempo operacional total da cadeia considerando a variabilidade dos tempos operacionais das atividades da cadeia.

Será apresentado no próximo capítulo um estudo de caso considerando-se os portos de Arzew (Argélia) e São Sebastião (Brasil) para se fazer a aplicação de um modelo utilizando-se o software “ARENA”, que, além de usar uma linguagem de alto nível, contém uma de nível inferior (SIMAN) que permite maior flexibilidade.

CAPÍTULO VI – ESTUDO DE CASO

6.1. Introdução

Com o intuito de exemplificar a utilização do procedimento proposto, foi desenvolvida uma aplicação do mesmo em uma cadeia de suprimento de petróleo.

Não foi possível realizar um estudo de caso real, pois os dados necessários para caracterizar algumas das atividades deveriam ser coletados já que não se encontram disponíveis. O tempo dessa coleta inviabilizaria a aplicação. Entretanto, procurou-se não se afastar muito da realidade o que foi conseguido usando a experiência conseguida nos anos de trabalho no setor.

Para estudo de caso foi selecionado a importação de condensado argelino a partir de Arzew na Argélia. É um petróleo leve com densidade específica de 0,72 (64,5 API), transportado em navios Suezmax em lotes de 100.000 toneladas que equivale a 138.889 m³. O terminal de descarga é o de São Sebastião em S.Paulo e a refinaria é a Replan em Paulínea, interior de São Paulo. O terminal de São Sebastião atende as refinarias REPLAN e REVAP através de um terminal intermediário em Guararema conforme mostrado na figura 6.1. Para simplificação assumiu-se que Guararema seria o ponto de entrega de produto.

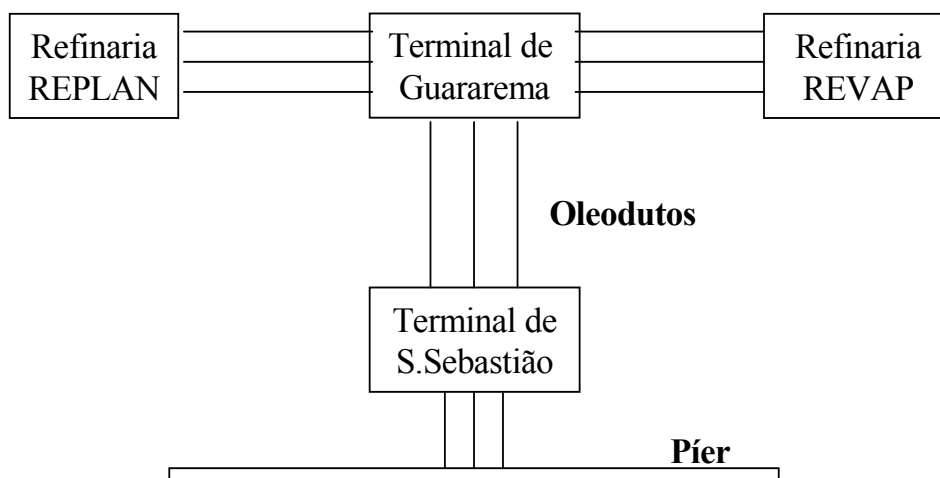


Figura 6.1: Esquema dos oleodutos de S. Sebastião para a REPLAN e REVAP pelo terminal de Guararema.

Fonte: Petrobras.

6.2. Atividades

Analisando o caso a ser estudado podem-se definir cinco atividades distintas:

- **carregamento do navio em Arzew:** deve ser estimada a distribuição de probabilidade do tempo de operação nesse porto, incluindo as possíveis causas de atrasos. Para se conseguir esta distribuição foram utilizados carregamentos realizados em Arzew com navios de mesmo porte e lote de carregamento que os do estudo de caso, porém, não necessariamente destinados para S. Sebastião. Com isso, aumentou-se o tamanho da amostra disponível. O tempo padrão para esta atividade é de 1,5 dias ou 36 horas. Este tempo foi estimado pelos programadores para tempos de viagens redonda, considerando que não haja nenhuma dificuldade (Anexo I).
- **viagem de Arzew até S. Sebastião:** além da rota utilizaram-se rotas similares tais como a de Marlim para Laverá com navios do mesmo porte para se obter a distribuição de probabilidade da velocidade média da viagem. A partir desta velocidade é obtido o

tempo de viagem. A velocidade padrão é de 14 knots (milhas náuticas por hora), a distancia de Arzew para S.Sebastião é de 4.577 milhas náuticas e, portanto, o tempo de viagem padrão a ser considerado é de 13,6 dias ou 327 horas (Anexo II).

- **chegada no porto de S.Sebastião e início da operação de descarga:** para caracterizar o tempo médio desta atividade utilizaram-se os tempos entre as chegadas sucessivas dos navios, do tipo do navio do estudo de caso, e o início da operação de descarga independente do porto de origem da carga. O tempo padrão para esta atividade é de 0,25 dias ou 6 horas, tempo considerado pelos programadores dos navios como adequado ou satisfatório (Anexo III).
- **operação de descarga do navio:** para calcular o tempo necessário para esta atividade utilizaram-se as vazões médias de descarga de navios de mesmo porte e lotes de carga que o do estudo de caso para se obter sua curva de distribuição de probabilidade. O tempo padrão é de 24 horas, ou vazão de 5787 m³/hr (Anexo IV).
- **a transferência do terminal para a refinaria (Guararema) com bombeio em “pulmão”:** como o tempo de repouso para o condensado argelino (petróleo leve) é zero, pode-se realizar a transferência do produto utilizando tanques em “pulmão”. Neste caso, o navio descarrega o petróleo para um tanque do terminal onde uma vez atingido o nível equivalente a cerca de 15.000 m³, o bombeio para a refinaria pode ser iniciado. Os volumes dos lotes movimentados e suas respectivas vazões são influenciados pelo número de bombas sendo utilizadas para a transferência, a posição geográfica dos tanques em relação as bombas de transferência e pelas operações internas do terminal e da refinaria que podem influenciar esta transferência. Desta forma, uma queda no fornecimento de energia elétrica ou a necessidade de limpeza de filtros pode tirar de operação uma ou mais bombas de transferência, como também, pode haver redução da vazão devido a necessidade de aguardar a chegada de um determinado produto no terminal que possa posteriormente empurrar o que está sendo bombeado ou para aguardar a liberação de espaço em algum tanque na refinaria. Assim, foi considerado uma distribuição de probabilidade dos volumes movimentados e

uma distribuição de probabilidade para as vazões sendo escolhido para cada volume movimentado uma vazão. A vazão padrão de bombeio é de 5400 m³/h, o que para uma quantidade de 138.889 m³ significa 1,07 dias ou 25,72 horas (Anexo V e Anexo VI).

O tempo total em toda a cadeia de suprimento, caso todas as atividades operassem no tempo padrão, é de 16,5 dias ou 397 horas considerando o bombeio para a refinaria em “pulmão”.

6.3. Curvas de distribuição de probabilidade dos diversos tempos:

Cada atividade requer o levantamento de dados para definição da curva de distribuição de probabilidade dos tempos de operação. As curvas obtidas utilizando o “Input Analyser” do software “ARENA” foram:

- **Curva de distribuição do tempo de carregamento em Arzew:** distribuição de Weibull $t_0 = 36 + \text{WEIB}(31.8, 1.85)$. Esta fórmula está sendo usada no modelo truncada no valor máximo de 110 horas. Os dados e as características do ajuste se encontram no Anexo I.

- **Curva de distribuição da velocidade das viagens de Arzew para S.Sebastião:** é uma distribuição de Weibull $Ve = 10 + \text{WEIB}(4.05, 4.46)$. Esta fórmula está sendo usada no modelo truncada em 15,7 knots. Os dados e as características do ajuste se encontram no Anexo II.

- **Curva de distribuição do tempo entre chegada em S.Sebastião e início da operação de descarga:** é uma distribuição de WEIBULL $t_0 = 4 + \text{WEIB}(28.9, 0.789)$. Esta fórmula está sendo usada no modelo truncada em 126 horas. Os dados e as características do ajuste se encontram no Anexo III.

- **Curva de distribuição do tempo da descarga em S.Sebastião:** a expressão obtida para a distribuição de probabilidade da vazão de descarga dos navios é uma distribuição

triangular na seguinte forma: **Vzn = TRIA(1880,4380,7650)**. Os dados e as características do ajuste se encontram no Anexo IV.

- **Curva de distribuição de probabilidade da vazão e do volume da transferência para a refinaria:** Para a transferência do terminal para a refinaria duas distribuições são válidas: a dos volumes movimentados, que está representado pela distribuição empírica **Lt = CONT (0.0, 10228, 0.113, 19559, 0.355, 28889, 0.565, 38220, 0.645, 47550, 0.790, 56881, 0.952, 66211, 1.0, 75542)** e das vazões representada pela distribuição Beta **Vzt = 2.13E+003 + 3.26E+003 * BETA(1.69, 0.965)**. Esta última fórmula está sendo usada no modelo truncada no máximo de 5400 m³/hr e no mínimo de 2130 m³/hr. O tempo de bombeio de cada lote movimentado é o volume do lote bombeado dividido pela respectiva vazão de bombeio. Os dados e as características do ajuste se encontram no Anexo V e Anexo VI respectivamente.

6.4. Aplicação do procedimento proposto

Os valores iniciais a serem utilizados no procedimento, como também, as distribuições de probabilidade definidas para cada uma das variáveis aleatórias que compõem o processo, são as seguintes:

- **nr_navio:** inicializada com o valor 0;
- **n_int:** inicializada com o valor de 1000;
- **libera:** inicializada com o valor 1;
- **libera_1:** inicializada com o valor 1;
- **t_carga_max:** inicializada com o valor 110 hr;
- **dist_portos:** inicializado com o valor 4577 milhas náuticas;
- **t_cheg_oper_máx:** inicializada com o valor 126 hr;
- **vel_nav_max:** inicializada com o valor 15,7 knots;
- **carga_navio_ini:** inicializada com o valor 138889 m³ ;
- **capac_tq_dest:** inicializada com o valor 130000 m³ ;
- **vaz_desc_nav_max:** inicializada com o valor 7000 m³/hr ;

- **lib_bombeio:** inicializada com o valor 1;
- **v_ini_bomb:** inicializado com o valor de 15.000 m³;
- **v_transf_max:** inicializada com o valor de 5.400 m³/hr;
- **tq_min:** inicializada com valor de 3.000 m³;
- **vol_ref_tot:** inicializada com o valor 130000 m³ ;
- **vol_duto_ref:** inicializada com o valor 65000 m³ ;
- **t_carga:** representado pela distribuição de Weibull $t_{carga} = 36 + \text{WEIB}(31.8, 1.85)$;
- **vel_navio:** representado pela distribuição de Weibull $\text{vel}_{navio} = 10 + \text{WEIB}(4.05, 4.46)$;
- **t_cheg_oper:** representado pela distribuição de Weibull $t_{cheg_oper} = 4 + \text{WEIB}(28.9, 0.789)$;
- **vaz_desc_nav:** representada pela distribuição triangular $\text{vaz_desc_nav} = \text{TRIA}(1880, 4380, 7650)$;
- **vol_transf:** representado pela distribuição empírica $\text{vol_transf} = \text{CONT}(0.0, 10228, 0.113, 19559, 0.355, 28889, 0.565, 38220, 0.645, 47550, 0.790, 56881, 0.952, 66211, 1.0, 75542)$;
- **vaz_transf:** representada pela distribuição Beta $\text{vaz_transf} = 2130 + \text{BETA}(1.69, 0.965)$;

O diagrama de fluxo as página 61 a 64 para o estudo de caso é:

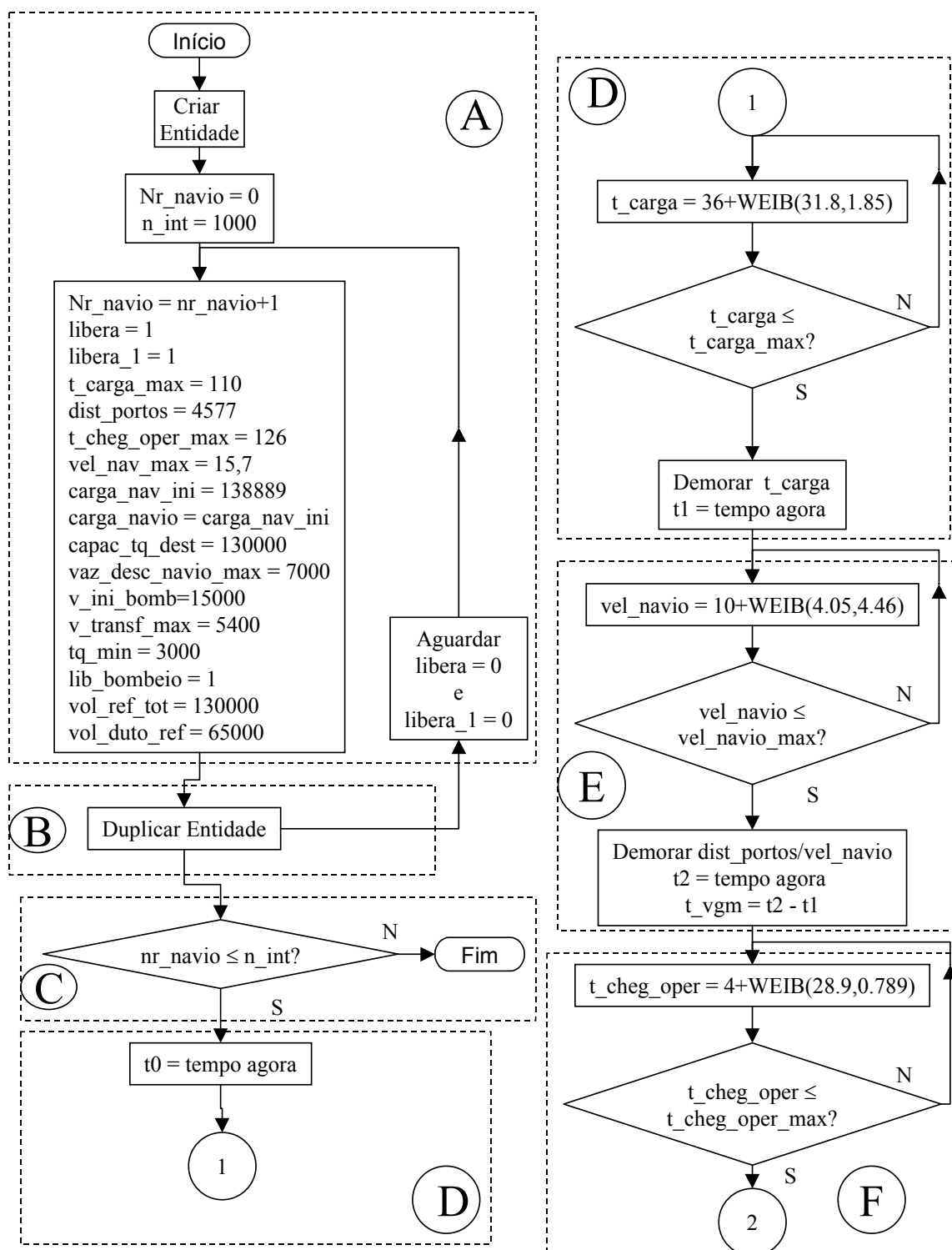


Figura 6.2: Fluxograma do procedimento em ARENA para o estudo de caso

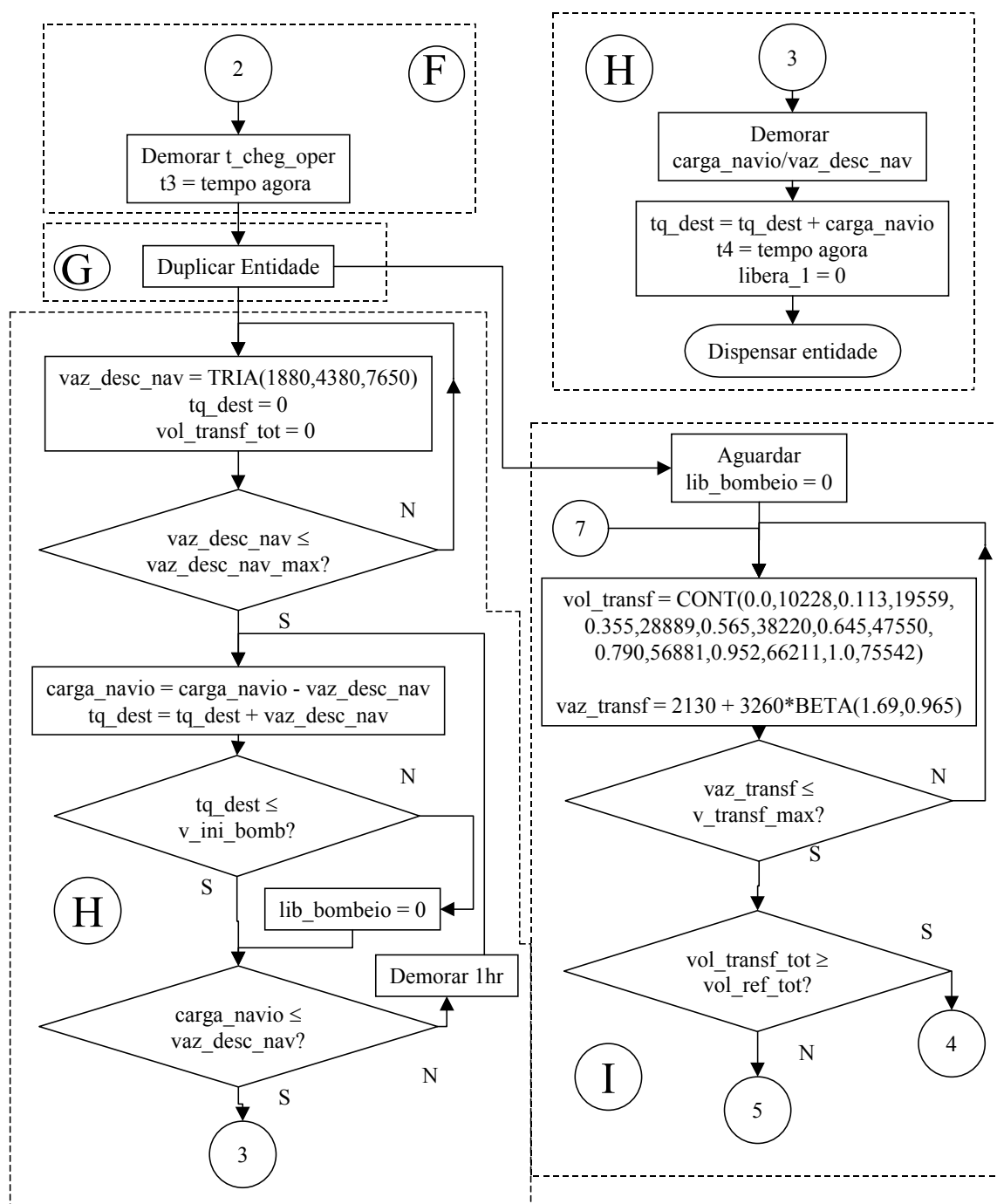


Figura 6.2: Fluxograma do procedimento em ARENA para o estudo de caso (cont)

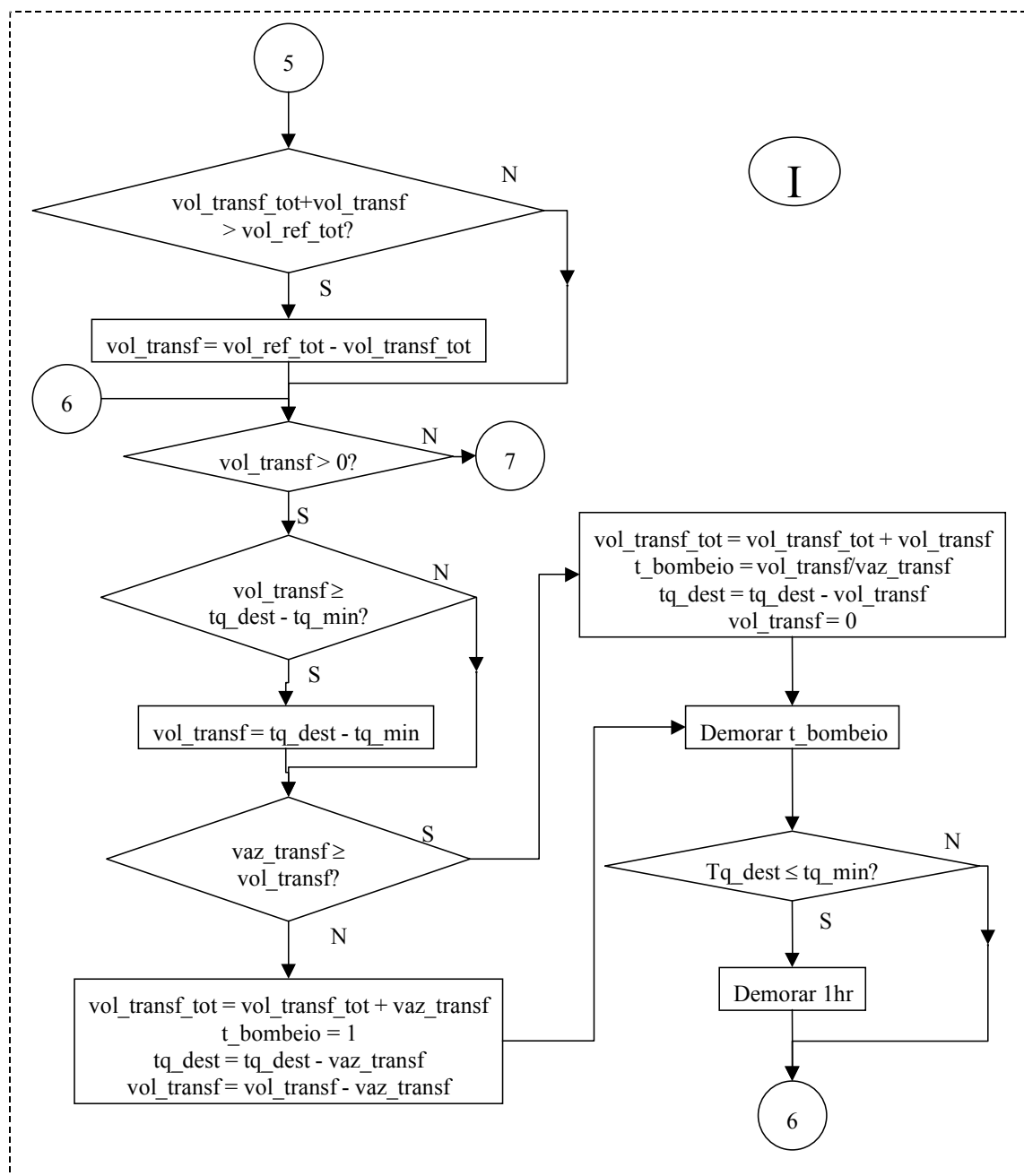


Figura 6.2: Fluxograma do procedimento em ARENA para o estudo de caso (cont)

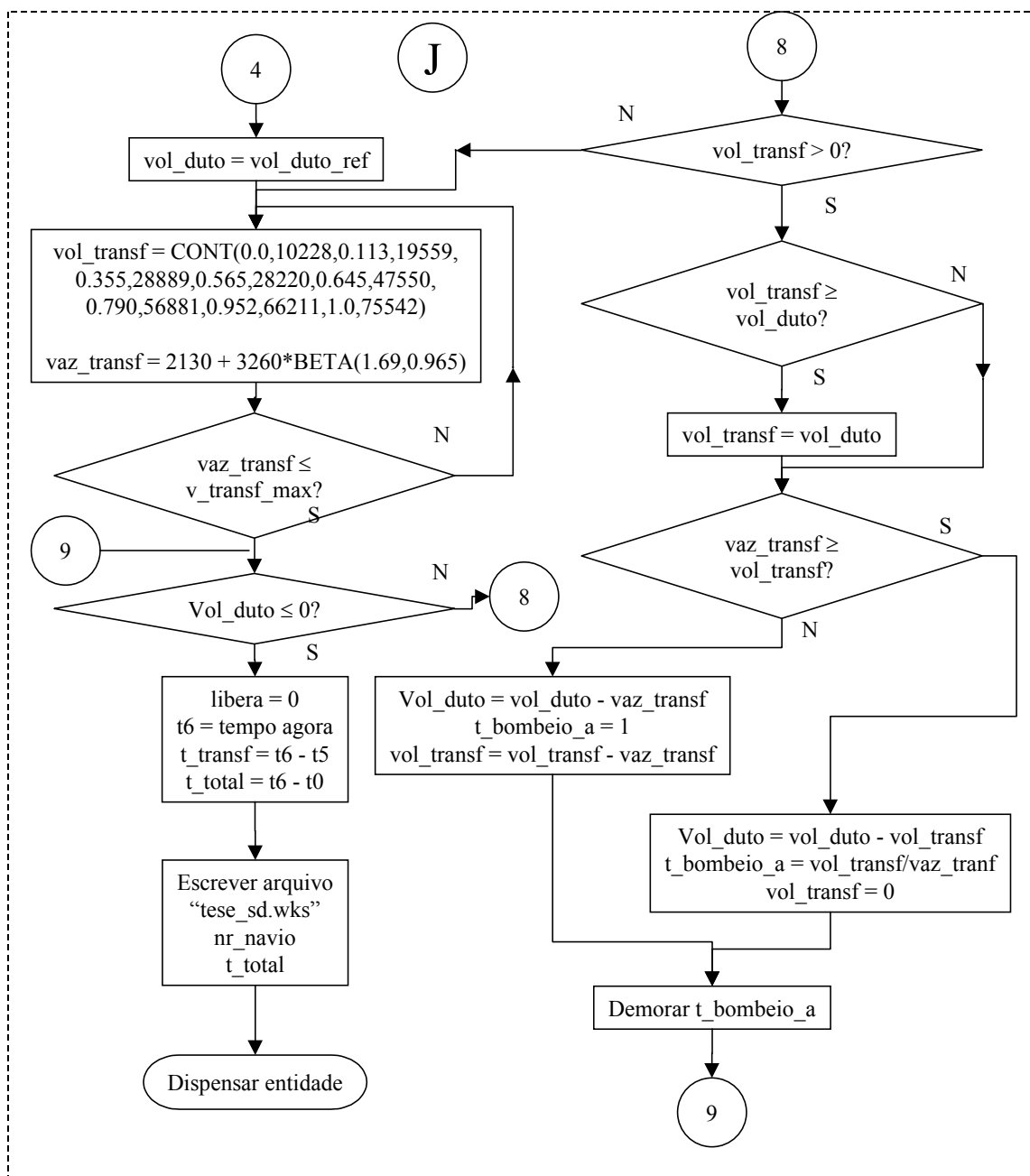


Figura 6.2: Fluxograma do procedimento em ARENA para o estudo de caso (cont)

Este fluxograma mostra todas as variáveis com os valores assumidos no programa em ARENA e todos os processos considerados no modelo.

6.5. Análise dos resultados

Este estudo de caso considerou uma amostra de 1000 navios de Arzew para S.Sebastião que realizaram a atividade completa e a partir dos tempos totais computados chegou-se ao ajuste de uma curva de probabilidade e a probabilidade acumulada do tempo total. Estas curvas encontram-se a seguir e mais detalhadas no anexo VII.

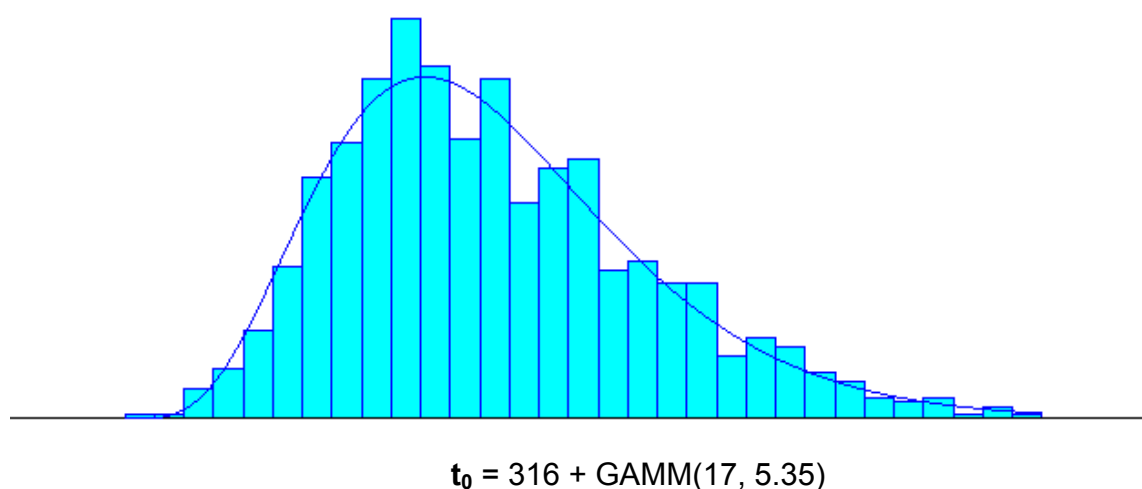


Figura 6.3: Curva de distribuição de probabilidade do tempo total.

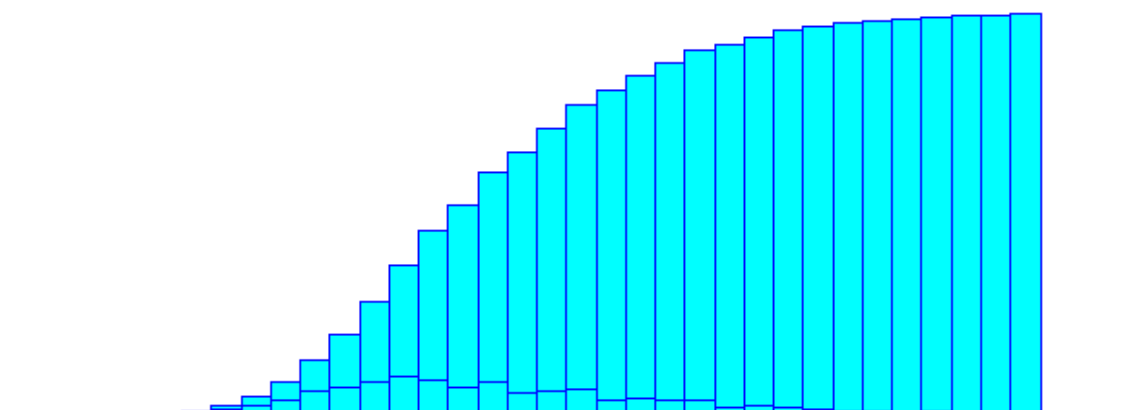


Figura 6.4: Curva de distribuição de probabilidade acumulada do tempo total.

Analisando estas curvas e considerando-se o tempo padrão de 397 hr, tem-se que a probabilidade de ocorrer um tempo igual ou menor a este é de 45%, aproximadamente. Isto é 45% das viagens realizadas terminam sua atividade em tempo menor ou igual a 397 horas. As viagens restante sofrem atrasos.

As maiores frequências ocorrem entre 367 hr e 411 hr, isto é, 47% das viagens apresentam tempos totais entre os dois valores mencionados. A probabilidade de ocorrer tempos menores ou iguais a 367 hr é de 13,5%.

Conforme visto (anexo VII), este tempo total se encontra distribuído segundo uma distribuição GAMMA com parâmetros 17 e 5.35. Esta distribuição permite estimar a confiabilidade de que a operação global (t_0) seja realizada em diversos limites (t_L) conforme tabela da figura 6.5:

TABELA RESULTADO DE CONFIABILIDADE

Tempo Total Padrão (t_p)	Tempo Total Realização t_0 , até t_L	Percentual Excedente ao padrão	horas Excedente ao padrão	dias Excedente ao padrão	$P(t_0 \leq t_L)$ Confiabilidade
397	397,00	0,00%	0,00	0,00	45,7%
397	411,19	3,57%	14,19	0,59	60,3%
397	425,84	7,26%	28,84	1,20	71,3%
397	440,48	10,95%	43,48	1,81	80,9%
397	462,45	16,49%	65,45	2,73	91,0%
397	484,42	22,02%	87,42	3,64	96,1%
397	521,03	31,24%	124,03	5,17	99,5%

Figura 6.5:Tabela resultado de confiabilidade

Assim, para que se tenha 99,5% de confiabilidade de receber na refinaria uma determinada carga de petróleo de Arzew, o prazo estimado deve ser de 521 hr ou 21,7 dias. Isto implica em 124 hr ou 5,2 dias a mais do tempo total padrão de 397 hr ou 16,5 dias.

Se houver necessidade do óleo de Arzew até 411 hr ou 17,12 dias, como a confiabilidade relacionada a esse tempo é de 60%, deve se buscar alguma alternativa por um produto semelhante em outros portos que possam ser escolhidos como origem da carga por apresentarem confiabilidade maior.

A utilização da simulação permite fazer uma análise de sensibilidade onde pode-se avaliar as atividades mais críticas ou as que mais impactam no tempo total da cadeia.

Como exemplo, utilizando este estudo de caso, duas atividades foram selecionadas e avaliadas suas influências, viagem de Arzew a S.Sebastião e chegada e início de operação em S.Sebastião, por apresentarem maior variabilidade como apresentado na tabela da figura 6.6 abaixo:

Atividade	De Hrs (dias)	Até Hrs (dias)	Variação Hrs (dias)
Viagem de Arzew a S.Sebastião	291,5 (12,15)	440 (18,3)	148,5 (6,15)
Chegada e início de operação S.Seb.	4,58 (0,2)	126 (5,25)	121,4 (5,05)
Descarga em S.Sebastião	18,15 (0,76)	77,16 (3,21)	59 (2,45)
Transferência do terminal à refinaria	25,72 (1,07)	65,21 (2,72)	39,49 (1,65)

Figura 6.6: tabela de variação máxima das atividades do estudo de caso

Estas atividades tiveram suas médias e distribuições mantidas porém com variância reduzidas pela metade, e cada uma das análises consistiu na alteração em apenas uma das atividades por vez. Estas alterações estão apresentadas na tabela da figura 6.7:

Variável	Curva original	Curva com variância pela metade	Valor médio
Velocidade navio	10+Weib(4.05,4.46)	10+Weib(3.964,6.515)	13,7
Chegada e início operação S.Sebastião	4+Weib(28.9,0.789)	4+Weib(34.1,1.1)	37,07

Figura 6.7: tabela das curvas de distribuição original, com variância pela metade e, no extremo, com variância zero.

Os resultados obtidos com essas mudanças são os contidos nas tabelas das figuras 6.8 e 6.9 respectivamente:

Tempo total realização t0 até t1	P(t0 <= tL) Variância original (%)	P(t0 <= tL) Variância pela metade (%)	P(t0 <= tL) Variância zero (%)
397	45,7	46,7	49,9
411,19	60,3	61,1	66,5
425,84	71,3	73,4	79,3
440,48	80,9	82,9	87,1
462,45	91,0	91,6	94,4
484,42	96,1	96,5	98,2
521,03	99,5	99,8	

Figura 6.8: atividade modificada: viagem de Arzew a S.Sebastião (variável: velocidade do navio)

Tempo total realização t0 até t1	P(t0 <= tL) Variância original (%)	P(t0 <= tL) Variância pela metade (%)	P(t0 <= tL) Variância zero (%)
397	45,7	42,9	26,7
411,19	60,3	55,9	49,5
425,84	71,3	69,9	72,4
440,48	80,9	81,2	87,9
462,45	91,0	91,4	97,5
484,42	96,1	96,9	99,8
521,03	99,5	99,5	

Figura 6.9: Atividade modificada: tempo de chegada e início de operação em S.Sebastião.

Da observação dessas tabelas pode-se verificar que a atividade viagem de Arzew a S.Sebastião melhorou sensivelmente a confiabilidade enquanto que a outra não teve tanta influência. Para cada caso o gerente de operações encontra nesta simulação, aliada a análise de sensibilidade, um auxílio poderoso para tomada de decisões.

6.6. Conclusões

A ferramenta desenvolvida é de fácil aplicabilidade se os dados estiverem disponíveis, caso contrário, estes devem ser buscados de cadeias semelhantes ou pela experiência de técnicos do setor. Caso não se consiga um ajuste adequado de uma curva de distribuição aos dados existente há a alternativa de se utilizar a função de distribuição na forma empírica.

A obtenção da curva de probabilidade do tempo total da cadeia analisada permite tomar decisões racionais quanto a origem da carga, rota escolhida e tipos de equipamentos utilizados, o que torna o processo muito útil.

CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

O tratamento da cadeia logística, dividido em atividades, permite maior flexibilidade na obtenção dos dados operacionais necessários assim como na identificação de setores ou conjunto de atividades que causam maior impacto na cadeia.

A simulação mostrou-se uma ferramenta extremamente flexível permitindo compor as diversas curvas de probabilidade dos tempos operacionais parciais e detalhar as atividades da cadeia ao nível necessário.

Embora esta dissertação esteja voltada para o suprimento de petróleo, a lógica utilizada neste procedimento pode ser estendida para outras cadeias logísticas como a de graneis sólidos, pacotes e outras, com modais de transporte diferentes tais como ferroviário ou rodoviário.

Para um programador, a curva de probabilidade dos tempos operacionais da cadeia de suprimento de um determinado petróleo permite avaliar o risco de falha de recebimento do petróleo na refinaria dado um determinado prazo existente, com isto, permite definir nas negociações de compra do petróleo a data adequada para o carregamento do navio considerando-se um determinado risco ou nível de serviço assumido com a refinaria, a origem da carga em portos que permitam maiores confiabilidade. Além disso, dependendo do nível de risco que se esteja assumindo, podem-se definir alternativas operacionais para compensar o atraso na chegada do produto caso ele ocorra.

O procedimento permite que se faça uma análise de sensibilidade possibilitando a definição das atividades que mais impactam na curva final de distribuição dos tempos operacionais da cadeia.

7.2. Recomendações

Tendo em vista a escolha inicial de se trabalhar com petróleo a aplicação do procedimento para outros tipos de carga tais como produtos claros (diesel, gasolina, querosene de aviação e outros) é recomendada, levando-se em consideração a possível necessidade de adaptações.

No caso apresentado neste estudo não se modelou o caso do petróleo pesado, onde é necessário que o produto permaneça por 24 hr no tanque antes de ser transferido para a refinaria, o que enriqueceria o modelo com maior realismo.

Alguns dados de entrada, como no caso das vazões dos navios no terminal de descarga, necessitam de uma amostragem com período de tempo maior para uma melhor caracterização do histograma de distribuição das vazões. Também, com relação as vazões de transferência para a refinaria seria adequado selecionar vazões de petróleos leves e não como neste caso onde não se distinguiu este aspecto.

Esta dissertação considerou apenas o tempo operacional da cadeia logística de suprimento não incluindo os custos envolvidos para os diversos tempos operacionais. Para cada atividade haverá um custo associado que será função, além de outras variáveis, do tempo de operação e, portanto, o tempo operacional total da cadeia também terá um custo provável associado. Logo, ao se determinar um nível de serviço estará se associando um custo provável.

Por outro lado, o custo associado ao nível de serviço deve ser avaliado em relação aos custos de atraso na chegada do petróleo na refinaria. A falta da matéria prima adequada resulta em produtos que não atenderão a demanda do mercado. O resultado pode ser um custo maior para garantir o atendimento do mercado, além da possibilidade de perda de clientes para outros concorrentes. Assim, um nível de serviço para um custo total mínimo deve ser avaliado.

ANEXO I

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DO TEMPO DE OPERAÇÃO EM ARZEW

Sumário da Distribuição

Distribuição: Weibull
 Expressão: $36 + \text{WEIB}(31.8, 1.85)$
 Erro quadrado: 0.004338

Teste Chi Square

Numero de intervalos = 4
 Graus de liberdade = 1
 Teste Estatístico = 0.808
 Correspondente p-value = 0.398

Teste Kolmogorov-Smirnov

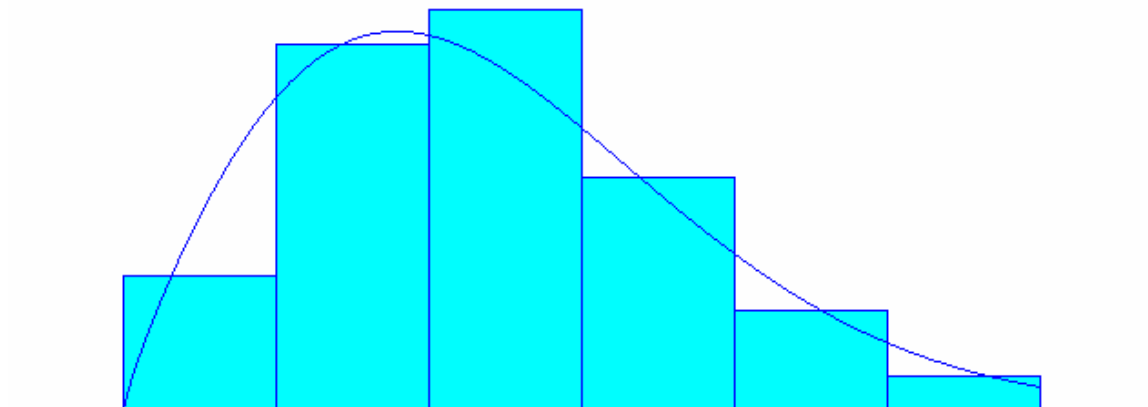
Teste Estatístico = 0.0903
 Correspondente p-value > 0.15

Sumário dos dados

Numero de Pontos = 38
 Mínimo Valor = 36.1
 Máximo Valor = 105
 Média = 64.7
 Desvio padrão = 15.2

Sumário do Histograma

Extensão do Histograma = 36 to 106
 Numero de Intervalos = 6



ANEXO II

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DA VELOCIDADE DAS VIAGENS DE ARZEW PARA S.SEBASTIÃO

Sumário da Distribuição

Distribuição: Weibull

Expressão: $10 + \text{WEIB}(4.05, 4.46)$

Erro quadrado: 0.005182

Teste Chi Square

Numero de intervalos = 6

Graus de liberdade = 3

Teste Estatístico = 3.39

Correspondente p-value = 0.353

Teste Kolmogorov-Smirnov

Teste Estatístico = 0.0639

Correspondente p-value > 0.15

Sumário dos dados

Numero de Pontos = 130

Mínimo Valor = 10.4

Máximo Valor = 15.7

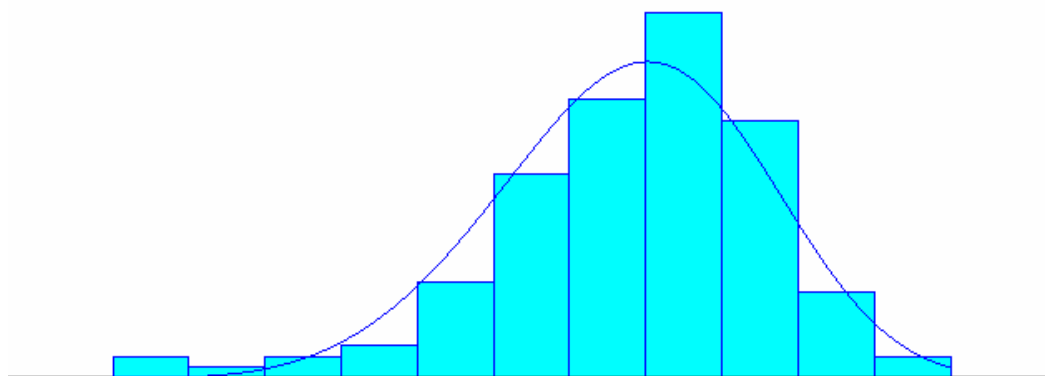
Média = 13.7

Desvio padrão = 0.983

Sumário do Histograma

Extensão do Histograma = 10 to 16

Numero de Intervalos = 11



ANEXO III

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DO TEMPO ENTRE A CHEGADA EM S.SEBASTIÃO E O INÍCIO DA OPERAÇÃO DE DESCARGA

Sumário da Distribuição

Distribuição: Weibull

Expressão: $4 + \text{WEIB}(28.9, 0.789)$

Erro quadrado: 0.003413

Teste Chi Square

Numero de intervalos = 4

Graus de liberdade = 1

Teste Estatístico = 2.4

Correspondente p-value = 0.133

Teste Kolmogorov-Smirnov

Teste Estatístico = 0.0869

Correspondente p-value > 0.15

Sumário dos dados

Numero de Pontos = 91

Mínimo Valor = 4.58

Máximo Valor = 186

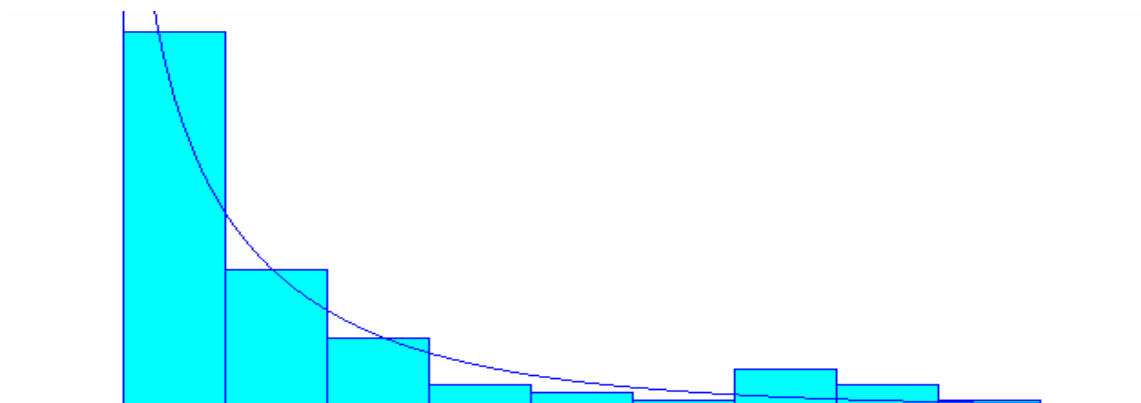
Média = 37.4

Desvio padrão = 43.1

Sumário do Histograma

Extensão do Histograma = 4 to 187

Numero de Intervalos = 9



ANEXO IV

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DO TEMPO DE DESCARGA EM S.SEBASTIÃO

Sumário da Distribuição

Distribuição: Triangular

Expressão: TRIA(1.8e+003, 4.38e+003, 7.65e+003)

Erro quadrado: 0.014404

Teste Chi Square

Numero de intervalos = 6

Graus de liberdade = 4

Teste Estatístico = 10.8

Correspondente p-value = 0.0305

Teste Kolmogorov-Smirnov

Teste Estatístico = 0.0603

Correspondente p-value > 0.15

Sumário dos dados

Numero de Pontos = 93

Mínimo Valor = 1.8e+003

Máximo Valor = 7.65e+003

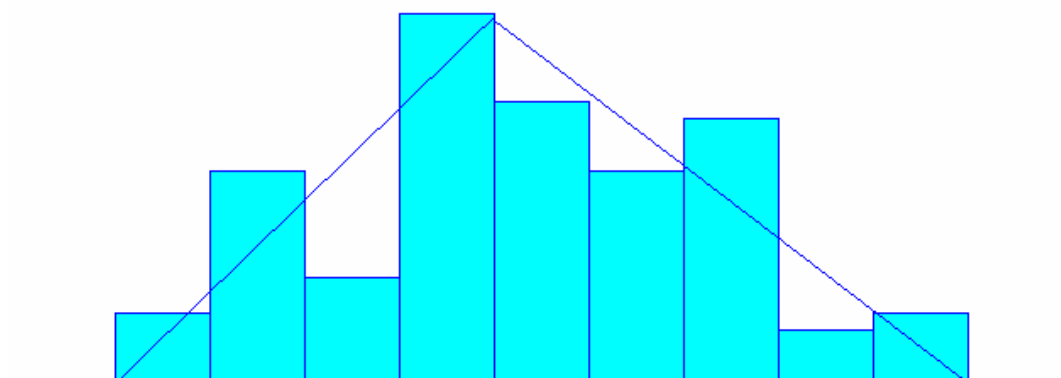
Média = 4.61e+003

Desvio padrão = 1.31e+003

Sumário do Histograma

Extensão do Histograma = 1.8e+003 to 7.65e+003

Numero de Intervalos = 9



ANEXO V

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS VOLUMES TRANSFERIDOS DO TERMINAL PARA A REFINARIA

Sumário da Distribuição

Distribuição: Empirical

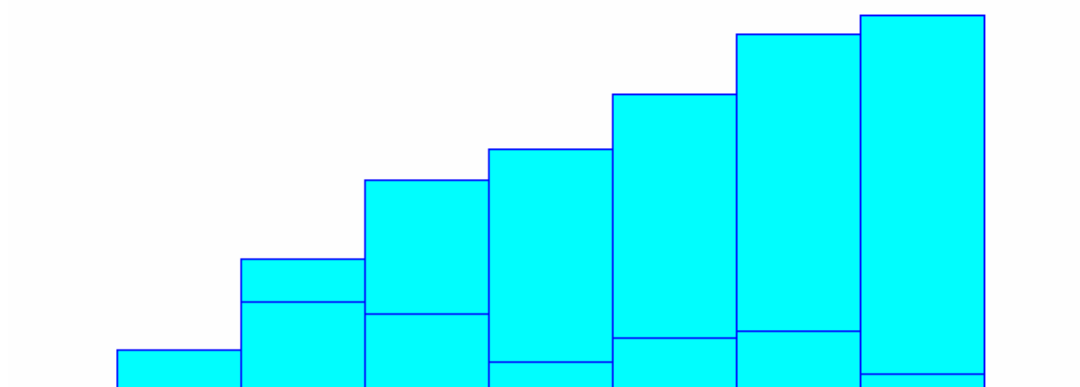
Expressão: CONT (0.000, 10227.999,
0.113, 19558.571,
0.355, 28889.142,
0.565, 38219.714,
0.645, 47550.286,
0.790, 56880.858,
0.952, 66211.429,
0.952, 75542.001)

Sumário dos dados

Numero de Pontos = 62
Mínimo Valor = 1.02e+004
Máximo Valor = 7.55e+004
Média = 3.93e+004
Desvio padrão = 1.78e+004

Sumário do Histograma

Extensão do Histograma = 1.02e+004 to 7.55e+004
Numero de Intervalos = 7



ANEXO VI

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DAS VAZÕES DE TRANSFERÊNCIA DO TERMINAL PARA A REFINARIA

Sumário da Distribuição

Distribuição: Beta

Expressão: $2.13e+003 + 3.26e+003 * \text{BETA}(1.69, 0.965)$

Erro quadrado: 0.002428

Teste Chi Square

Numero de intervalos = 6

Graus de liberdade = 3

Teste Estatístico = 0.715

Correspondente p-value > 0.75

Teste Kolmogorov-Smirnov

Teste Estatístico = 0.0722

Correspondente p-value > 0.15

Sumário dos dados

Numero de Pontos = 72

Mínimo Valor = $2.13e+003$

Máximo Valor = $5.39e+003$

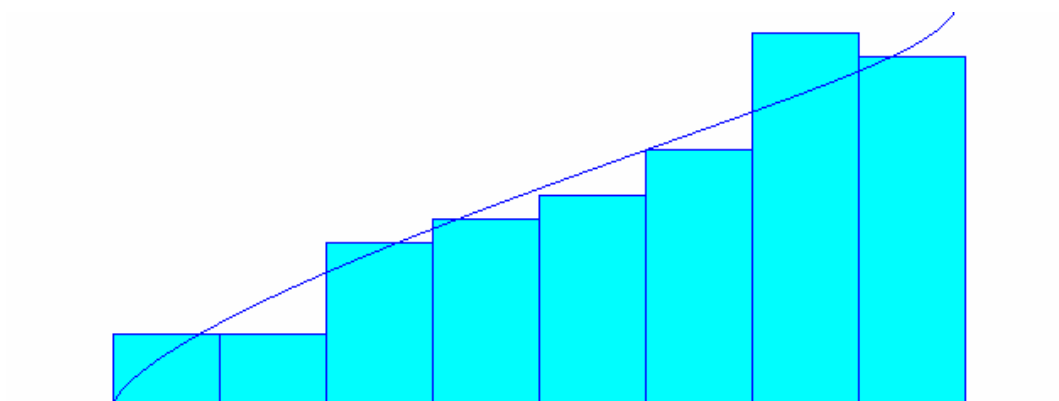
Média = $4.21e+003$

Desvio padrão = 820

Sumário do Histograma

Extensão do Histograma = $2.13e+003$ to $5.39e+003$

Numero de Intervalos = 8



ANEXO VII

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DO TEMPO TOTAL DA CADEIA

Sumário da distribuição:

Distribuição: Gamma
 Expressão: $316 + \text{GAMM}(17, 5.35)$
 Erro ao quadrado: 0.001013

Teste Chi quadrado
 Numero de intervalos = 22
 Graus de liberdade = 19
 Teste Estatístico = 20.8
 Correspondente p-value = 0.362

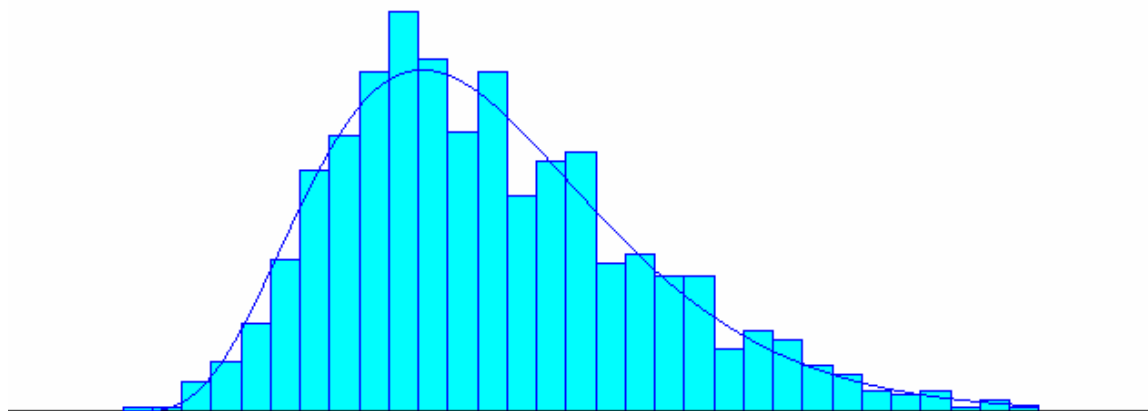
Teste Kolmogorov-Smirnov
 Teste Estatístico = 0.017
 Correspondente p-value > 0.15

Sumario dos dados

Numero de Pontos = 1000
 Valor Mínimo = 317
 Valor Máximo = 542
 Média = 407
 Desvio padrão = 38.3

Sumário do Histograma

Intervalo do Histograma = 316 to 543
 Numero Intervalos = 31



DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE FINAL ACUMULADA

Sumário da distribuição:

Distribuição: Empirical

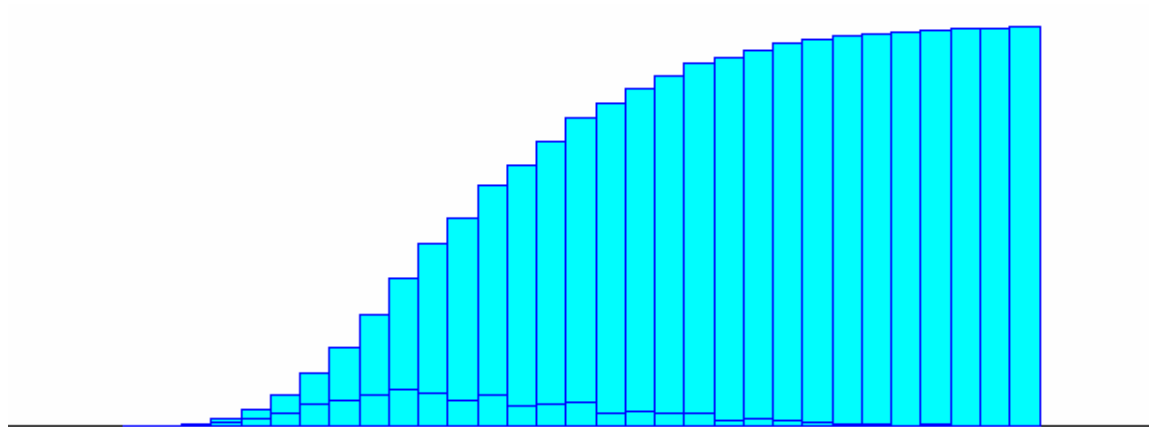
Expressão: CONT or DISC (0.000, 316.000,
 0.001, 323.323,
 0.002, 330.645,
 0.009, 337.968,
 0.021, 345.290,
 0.042, 352.613,
 0.078, 359.935,
 0.135, 367.258,
 0.200, 374.581,
 0.280, 381.903,
 0.374, 389.226,
 0.457, 396.548,
 0.523, 403.871,
 0.603, 411.194,
 0.654, 418.516,
 0.713, 425.839,
 0.774, 433.161,
 0.809, 440.484,
 0.846, 447.806,
 0.878, 455.129,
 0.910, 462.452,
 0.925, 469.774,
 0.944, 477.097,
 0.961, 484.419,
 0.972, 491.742,
 0.981, 499.065,
 0.986, 506.387,
 0.990, 513.710,
 0.995, 521.032,
 0.996, 528.355,
 0.999, 535.677,
 0.999, 543.000)

Sumario dos dados

Numero de Pontos = 1000
 Valor Mínimo = 317
 Valor Máximo = 542
 Média = 407
 Desvio padrão = 38.3

Sumário do Histograma

Intervalo do Histograma = 316 to 543
 Numero Intervalos = 31



APENDICE

Distribuições de Probabilidade: Conceitos e Propriedades

Distribuição BETA

Uma variável aleatória contínua x que assume valores no intervalo $[0,1]$ segue uma distribuição de probabilidade BETA com parâmetros α e $\beta \in R^+$ se sua função densidade de probabilidade for dada por:

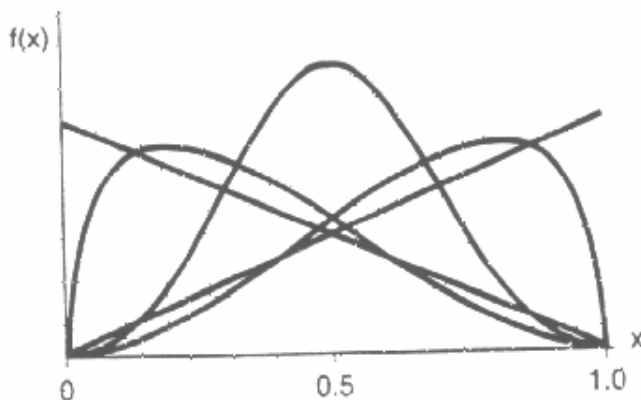
$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{\beta-1}(1-x)^{\alpha-1}}{B(\beta, \alpha)} & \text{para } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

onde B é a função BETA completa dada por $B(\beta, \alpha) = \int_0^1 t^{\beta-1} (1-t)^{\alpha-1} dt$.

A média e variância desta distribuição são respectivamente

$$E[X] = \frac{\beta}{\beta + \alpha}$$

$$V^2[X] = \frac{\beta\alpha}{(\beta + \alpha)^2(\beta + \alpha + 1)}$$



Distribuição GAMMA

Uma variável aleatória contínua x que assume valores no intervalo $[0, +\infty)$ segue uma distribuição de probabilidade GAMMA com parâmetros α e $\beta \in \mathbb{R}^+$ se sua função densidade de probabilidade for dada por :

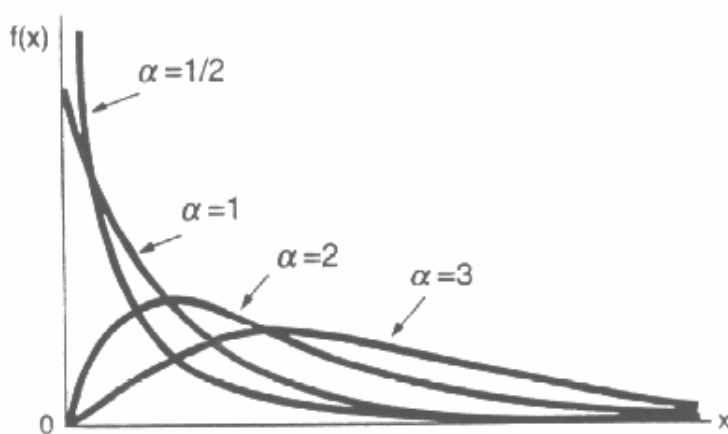
$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)} & \text{para } x > 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

onde Γ é a função gamma completa dada por $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$

A média e variância desta distribuição são respectivamente

$$E[X] = \alpha\beta$$

$$V^2[X] = \alpha\beta^2$$



Distribuição WEIBULL

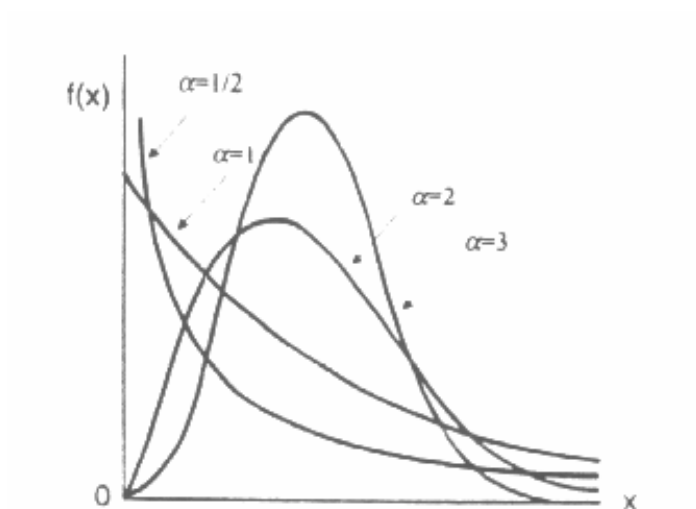
Uma variável aleatória contínua x que assume valores no intervalo $[0, +\infty)$ segue uma distribuição de probabilidade WEIBULL com parâmetros α e $\beta \in R^+$ se sua função densidade de probabilidade for dada por :

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha} & \text{para } x > 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A média e variância desta distribuição são respectivamente

$$E[X] = \frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \quad \text{onde } \Gamma \text{ é a função GAMMA completa}$$

$$V^2[X] = \frac{\beta^2}{\alpha} \left\{ 2\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \left[\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\}$$



Distribuição TRIANGULAR

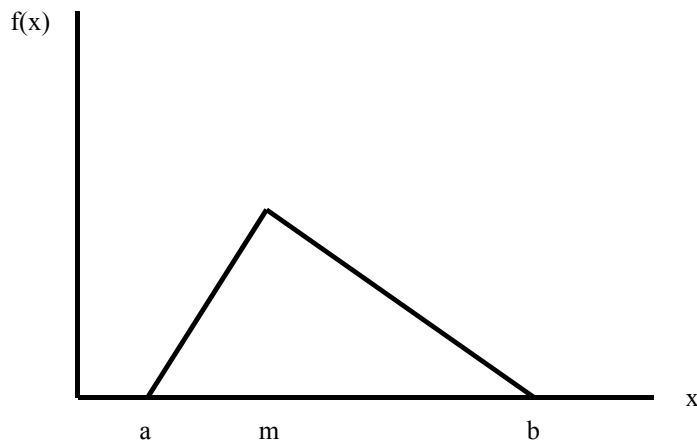
Uma variável aleatória contínua x que assume valores no intervalo $[a, b]$ segue uma distribuição de probabilidade TRIANGULAR com parâmetros a, m e $b \in \mathbb{R}^+$ se sua função densidade de probabilidade for dada por :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{para } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{para } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A média e variância desta distribuição são respectivamente

$$E[X] = (a + m + b) / 3$$

$$V^2[X] = (a^2 + m^2 + b^2 - ma - ab - mb) / 18$$



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOWERSOX, D. J. & CLOSS, D. J. - Logistical Management The Integrated Supply Chain Process, McGraw – Hill, 1996
- [2] International Crude Oil Market Handbook 1999 – 2000 - ed. Energy Intelligence Group, New York, 1999
- [3] TREAT, JOHN ELTING et.al. - editor, Creating The High Performance International Petroleum Company, Penn Well Publishing Company, 1994
- [4] BALLOU, R. H. - Business Logistic Management, Prentice Hall, 1999, 4^a edição.
- [5] BALLOU, R. H. - Logística Empresarial, ed. Atlas, 1993
- [6] Suplemento da Revista Tecnológica, edição fev/1999 – ASLOG (Associação Brasileira de Logística), Fundação Getúlio Vargas, ABML (Associação Brasileira de Movimentação e Logística)
- [7] British Petroleum – site: **www.bp.com/downloads/701/bp_global_stats.xls**
- [8] LEWIS, E. E. - Introduction to Reliability Engineering, ed. John Wiley & Sons, 1987.
- [9] BLANCHARD, S. BENJAMIN - Logistic Engineering and Management, ed. Prentice Hall, 1992.
- [10] PIDDA, M – Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão, Ed. Bookman, Porto Alegre, 1998
- [11] PEGDEN, C. D., SHANNON, R. E. e SADOWSKI, R. P. – Introduction to Simulation Using SIMAN, Ed. McGraw-Hill, New York, 1995
- [12] KELTON, W. DAVID, SADOWSKI, RANDAL P. e SADOWSKI, DEBORAH A. – Simulation With ARENA, WCB/McGraw-Hill, 1998

- [13] BOTTER, R. CARLOS – Desenvolvimento de Um Modelo de Simulação Probabilística para Análise e Dimensionamento de Sistema de Escoamento de GLP da Região de Urucu, relatório final, trabalho não publicado solicitado pela Petrobras, 1995.
- [14] BOTTER, R. CARLOS, et al – Modelo para o Dimensionamento da Frota de Embarcações R. A. S. para a Petrobras, trabalho apresentado no Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval, Rio de Janeiro, 1998.
- [15] BORGES, FERNANDO – Uma Análise da Cadeia Logística de Suprimento da Indústria de Petróleo Utilizando a Técnica de Simulação – Um Estudo de Caso, UFSC, tese de mestrado, Florianópolis, novembro de 2000.
- [16] DEXHEIMER, LETÍCIA – Sistema para Gerenciamento Operacional em Terminais Intermodais de Carga, IME, tese de mestrado, Rio de Janeiro, 1997.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

BOTTER, R. CARLOS – Introdução às Técnicas de Simulação e ao Programa ARENA, Apostila de curso, novembro de 1999.

CHRISTOPHER, MARTIN – Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços, ed. Pioneira. São Paulo, 1997.

COLLYER, MARCO A. E WESLEY O . – Dicionário de Comércio Marítimo: termos e abreviaturas usados no comércio marítimo internacional, ed. Lutécia, Rio de Janeiro, 2002.

GUJARATI, DAMODAR – Basic Econometrics, ed McGraw-Hill International, Cingapura, 1995.

HILLIER, FREDERIC E LIEBERMAN, GERALD – Introducion a la Investigacion de Operaciones, ed. McGraw-Hill Interamericana de Mexico, Mexico, 1991.

KELTON, W. DAVID E LAW, AVERILL M. – Simulation Modeling and Analysis, ed, Prentice Hall, New Jersey, 1996.

LA LONDE, BERNARD J. E INNIS, DANIEL E. – Customer Service: the key to customer satisfaction, customer loyalty and market share, ed. Journal of Business Logístics, Vol 15, No 1, pp. 1 – 27, 1994.

MERLI, GIORGIO – Comakership: a nova estratégia para os suprimentos, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, 1994.

MORETTIN, PEDRO A E BUSSAB, WILTON O – Estatística Básica: métodos quantitativos, ed. Atual, São Paulo, 1987.

NEVES, CESAR – Análise de Investimento II, apostila do curso de Mestrado de Economia Empresarial, Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 1999.

PARK, CHAN E SHARP, GUNTER – Advanced Engineering Economics, ed. John Wiley & Sons, 1990.

SAVVIDES, SAVVAKIS – Risk Analysis in Investment Appraisal, ed. Beech Tree Publishing, Project Appraisal, volume 9, nr 1, March 1994.

THOMAS, J. J. – Introdução à Análise Estatística para Economistas, Zahar Ed., Rio de Janeiro, 1978.

WELSH, S. – Continuous Improvement of Petroleum Logistics: use of organisational change, key indicator, performance contracts and managing outsourced services. The College of Petroleum and Energy Studies Oxford, apostila de curso ministrado na Petrobras, Rio de Janeiro, 1998.

WELSH, S. – Managing Downstream Logistics and Distribution, The College of Petroleum and Energy Studies Oxford, apostila de curso ministrado na Petrobras, Rio de Janeiro, 1998.